

KIERUNKI ZMIAN MATERIAŁOWYCH W MOTORYZACJI W ŚWIELE WYMOGÓW EKOLOGII

Marek Idzior

Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Politechnika Poznańska

Streszczenie. W artykule przedstawiono tendencje związane z wprowadzaniem do produkcji pojazdów nowoczesnych ekologicznych materiałów konstrukcyjnych. O zastosowaniu konkretnego materiału decydują przede wszystkim jego właściwości, cena, ale także to, jakie skutki dla środowiska niesie za sobą jego produkcja, użytkowanie oraz likwidacja. Omówiono nowe materiały, podano ich zastosowania z przykładami konstrukcji oraz przedstawiono kierunki rozwojowe.

Słowa kluczowe: motoryzacja, materiały, ekologia

WPROWADZENIE

Rozwój motoryzacji w ostatnich latach jest widoczny głównie w ich coraz lepszych wskaźnikach pracy. Pojawiło się wiele nowych konstrukcji silników, szczególnie o zapłonie samoczynnym, przewyższających odpowiadające im pojemnością silniki o zapłonie iskrowym bez doładowania. Przeciętny silnik ZS ma dzisiaj zupełnie inne wskaźniki pracy w porównaniu z rozwiązaniami kiedyś stosowanymi. Mercedes 260 D z roku 1935 miał silnik o pojemności skokowej $2,5 \text{ dm}^3$ moc 33 kW, osiągał 100 km/godz. przy zużyciu paliwa ok. 10 dm^3 na 100 km. Pierwsze samochody osobowe z silnikami ZS zużywały ok. $0,3 \text{ dm}^3$ oleju napędowego na 1 kW, natomiast współczesne diesle analogicznie ok. $0,03\div 0,04 \text{ dm}^3/1 \text{ kW}$, czyli blisko 10 razy mniej.

Również dynamiczny jest rozwój silników spalinowych o zapłonie iskrowym. Silniki te osiągają rewelacyjne wskaźniki pracy, przy niższym od silników o zapłonie samoczynnym koszcie, przy niezawodności mniej wrażliwej na jakość obsługi, paliwo itd. Dodatkowo zwiększony w Europie popyt na paliwo do silników ZS powoduje, że olej napędowy zaczyna być paliwem droższym od benzyny. W tej sytuacji można oczekiwać dalszych wysiłków producentów silników i następnych nowych rozwiązań, zarówno konstrukcyjnych, jak i technologicznych.

Nowoczesne diesle mają moc ok. 60 kW z 1 dm^3 pojemności skokowej, moment obrotowy niemal 200 Nm, również z 1 dm^3 . Silniki te są coraz bardziej ekonomiczne, cechujące się coraz mniejszym zużyciem paliwa, emitują mało szkodliwych składników spalin. Problemy, które nadal istnieją to większy niż w silnikach o zapłonie iskrowym

hałas i drgania, mniejsza elastyczność, bardziej skomplikowana i droższa budowa – wyraźnie wyższy koszt zakupu.

Dalszy rozwój motoryzacji będzie coraz bardziej związany z wprowadzaniem nowych materiałów konstrukcyjnych. Ostatni okres około 15 lat charakteryzował się przede wszystkim ogromnym wzrostem poziomu bezpieczeństwa biernego pojazdów oraz coraz nowszymi elementami ich dodatkowego wyposażenia. Szacuje się, że mogło to spowodować około 30% wzrost masy pojazdów, co musi prowadzić do wzrostu zużycia paliwa lub relatywnego zmniejszenia ich osiągnięć. Nowe materiały konstrukcyjne umożliwiają zaoszczędzenie wielu cennych kilogramów. Muszą one jednak zapewnić utrzymanie na dotychczasowym poziomie właściwości wytrzymałościowych, nie większy koszt oraz odpowiednią technologiczność. Elementy pojazdów i ich silników wykonane z materiałów lepszych niż tradycyjne, takie jak stal, czy żeliwo, również nowe technologie wytwarzania ciągle stanowią o możliwości ich rozwoju [Idzior 2003, 2005, 2006a, b].

WYMAGANIA STAWIANE MATERIAŁOM W MOTORYZACJI

Aktualne wymagania dotyczące materiałów konstrukcyjnych wykorzystywanych w motoryzacji to:

- Tendencja do stosowania materiałów konstrukcyjnych o mniejszej gęstości oraz większej wytrzymałości i lepszych właściwościach użytkowych. Dzięki temu jest możliwe zmniejszenie masy pojazdu i ograniczenie w związku z tym zużycia paliwa (a więc także emisji dwutlenku węgla). Należy zaznaczyć, że ważnym aspektem tych przedsięwzięć jest założenie braku wpływu podejmowanych działań na bezpieczeństwo pojazdu, na pogorszenie istniejącego stanu bezpieczeństwa. Przykładami takich rozwiązań konstrukcyjnych są m.in. struktury warstwowe i przestrzenne materiałów (np. typu sandwich), umożliwiające nie tylko znaczne zmniejszenie masy konstrukcji z zachowaniem porównywalnych właściwości wytrzymałościowych, ale i uzyskanie świadomej anizotropii właściwości konstrukcji (np. w strefach zgniatania struktury w związku z jej awaryjnym niszczeniem, wypadki). Coraz większe zastosowanie znajdują również materiały kompozytowe, umożliwiające uzyskanie nieosiągalnych dotychczas właściwości części poddawanych ekstremalnym obciążeniom (np. tarcze hamulcowe, tłoki itd.).
- Zastosowanie nowych materiałów konstrukcyjnych i eksploatacyjnych, technologii wytwarzania i obsługi pojazdów powinno przyczyniać się do zwiększenia trwałości pojazdów i ich elementów oraz wydłużenia okresów międzynaprawczych. To wpływa na zmniejszenie obciążenia środowiska materiałami odpadowymi, związanymi z obsługą i likwidacją zużytych pojazdów. Korzyścią jest również oszczędność surowców i energii potrzebnej do przetwarzania materiałów i wytwarzania części i zespołów pojazdów.
- Nowe materiały konstrukcyjne oraz sama konstrukcja powinny być dostosowane do sprawnego recyklingu pojazdów. Ważną właściwością nowych materiałów staje się możliwie duża ich biodegradowalność. Analogiczne wymagania stawiane są również infrastrukturze transportu.
- Duże wymagania stawia się materiałom eksploatacyjnym ze względu na emisję substancji szkodliwych dla środowiska. Dotyczy to przede wszystkim paliw, w których składzie jest wymagane zmniejszenie zawartości substancji szczególnie szkodliwych (m.in. węglowodorów pierścieniowych, ołowiu, siarki) oraz zmniejszających skutecz-

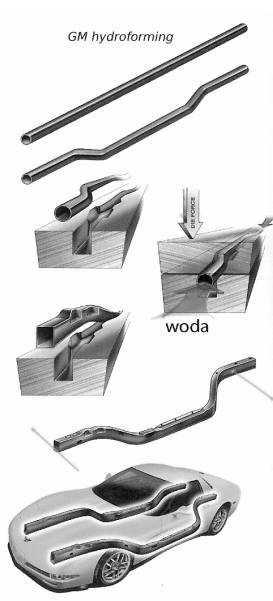
ność działania urządzeń oczyszczających spaliny (np. siarka w przypadku reaktorów katalitycznych).

– Ze względów ekonomicznych jest wymagane, aby koszty materiałów i technologii elementów pojazdów i infrastruktury transportu oraz materiałów eksploatacyjnych były stosunkowo nieduże. To zadanie, głównie w związku z wyżej sformułowanymi wymaganiami, jest trudne do spełnienia. Wiele rozwiązań ekologicznych w motoryzacji wiąże się z dużymi kosztami i często przegrywa z rozwiązaniami mniej korzystnymi dla środowiska, lecz tańszymi.

TENDENCJE ZMIAN W STOSOWANYCH MATERIAŁACH

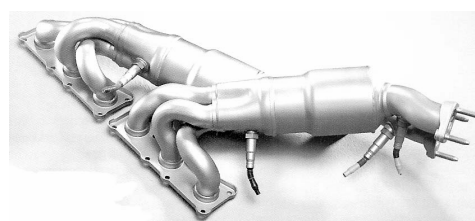
Stal

Ostatnio wprowadzane są nowe gatunki stali, o lepszych właściwościach wytrzymałościowych oraz lepszej energochłonności. Są to stale o bardzo wysokiej, wysokiej i podwyższonej wytrzymałości, niskostopowe, stosowane w konstrukcji szkieletu nadwozi z udziałem przekraczającym 20% i sięgającym 50%.



Rys.1. Hydroformowanie (kształtowanie) przekrojów zamkniętych za pomocą wody pod wysokim ciśnieniem [Mat. firm]

Fig. 1. Hydroforming (the formation) of closed sections by means of water under high-pressure



Rys. 2. Kolektor wydechowy z blachy stalowej [Mat. firm]

Fig. 2. Exhaust manifold made of sheet steel

Nowoczesne technologie, takie jak laserowe spawanie i zgrzewanie umożliwiają łączenie blach o różnej grubości doczołowo i dalej tłoczenie z tak przygotowanych prefabrykatów gotowych elementów. Można też walcować blachy o zmiennej grubości. Hydroformowanie (rys. 1) – kształtowanie przekrojów zamkniętych w formie przy użyciu

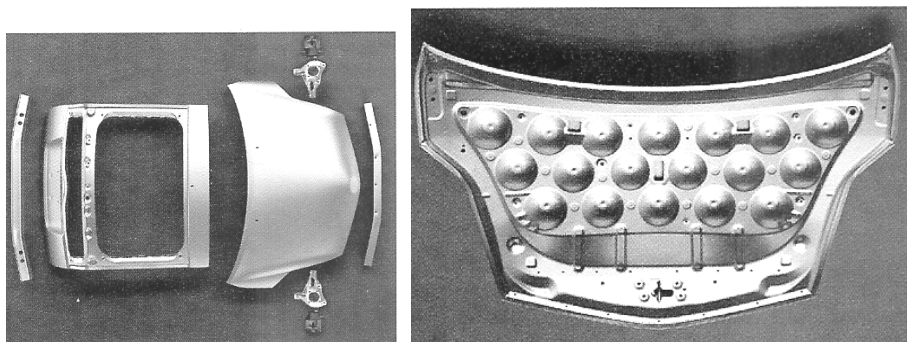
wody pod wysokim ciśnieniem, umożliwia obniżenie masy profili. Wykorzystanie najnowszych osiągnięć materiałoznawstwa i technologii umożliwia zmniejszenie masy nadwozia do 25%. Porównawczo, eksperymentalnie wykonane nadwozie, według najnowszych technologii ULSAB, ważyło 203 kg przy sztywności skrętnej 20 800 Nm/stopień, przy wykonywanych seryjnie nadwoziach 250÷270 kg, przy sztywności skrętnej 10÷20 000 Nm/stopień.

Przykładem nowych możliwości tłoczenia blach stalowych może być kolektor wydechowy z takiej blachy (rys. 2).

Stopy aluminium

Aluminium stosuje się w budowie pojazdów głównie ze względu na oszczędność energii i obniżenie masy samochodu, co pozwala na znaczną redukcję masy pojazdów i przyczynia się do zmniejszenia zużycia paliwa oraz emisji spalin, z zachowaniem wszystkich parametrów bezpieczeństwa konstrukcji. Metal ten ma wiele właściwości wykorzystywanych w procesach projektowania i wytwarzania produktów, jest materiałem bardzo ciekawym ze względów konstrukcyjnych.

Aluminium ($2,7 \text{ g/cm}^3$ w porównaniu z $7,9 \text{ g/cm}^3$ dla stali) jest materiałem plastycznym, ale o przeciętnej wytrzymałości porównywalnej z blisko 3-krotnie cięższym żelazem, także molibdenowym, ale ok. 2–2,5-krotnie gorszej od stali o podwyższonej wytrzymałości. Stosowane jest jako główny składnik stopów lekkich odlewanych z Si, Cu, Mg, Mn oraz z Mg i Mn do przeróbki plastycznej. Stopy te są droższe od stali, ale w sumarycznym rachunku wad i zalet są korzystne. Łączna masa części wykonywanych ze stopów lekkich na bazie aluminium w nowoczesnym samochodzie to ok. 130 kg.

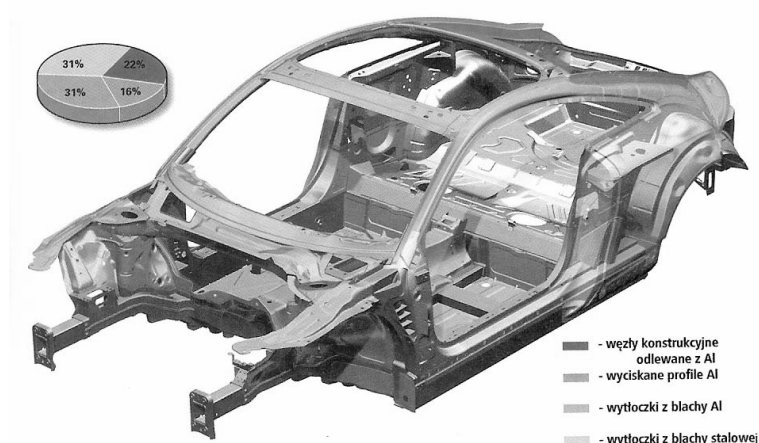


Rys. 3. Fragmenty poszycia nadwozia i pokrywa komory silnika Toyoty Prius wykonane z blach na bazie Al [Mat. firm]

Fig. 3. Fragments of the plate of a motor car-body and the cover of the chamber of an engine Toyota Prius made of sheet metals on the basis of Al

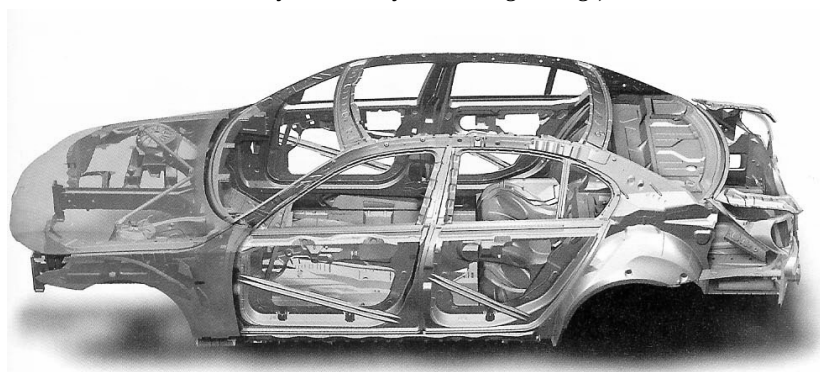
Stosowane są na elementy poszycia nadwozi, mniej na jego szkielet. Wykonuje się z nich najczęściej odejmowalne części (drzwi, błotniki, pokrywy) oraz inne drobniejsze (rys. 3). Nowością są przestrzenne ramy nośne (space frame) przenoszące całość obciążeń bez udziału stali. Wymagają one, poza tłoczeniem, specjalnych technologii kształtowania, takich jak odlewanie ciśnieniowe czy wyciskanie na zimno, a także łączenia nie tylko przez spawanie, ale i zgrzewanie, nitowanie i klejenie. Stosowanie tych stopów umożliwia zmniejszenie masy o ok. 30÷50%, przy zapewnieniu zbliżonych do stali wła-

ściwości konstrukcyjnych, mają też dobra energochłonność i odporność na korozję. Są jednak kosztowne i stosuje się je do droższych samochodów (Audi A2, A8). Nowością jest łączenie w budowie nadwozi aluminium ze stalą. Ostatnia generacja Audi TT (rys. 3) ma kadłub wykonany ze stali o wysokiej wytrzymałości (podłoga tylna, drzwi i pokrywa bagażnika – 31% masy kadłubu) i stopów aluminium (140 kg masy kadłubu – 63 kg blach, 45 kg odlewów, 32 profili wyciskanych). Analogiczny szkielet wykonany tylko ze stali ważyłby 48% więcej.



Rys. 4. Nadwozie pojazdu Audi TT wykonane niemal w całości z blachy Al (z wyjątkiem tylnej części nadwozia z wzmocnieniami) [Mat. firm]

Fig. 4. The body of the vehicle Audi TT made almost en bloc of sheet metals Al (behind barring the afterbody of the body with strengthenings)



Rys. 5. Nadwozie nowej generacji pojazdu BMW 5 o konstrukcji mieszanej – stalowy kadłub z przodem nadwozia ze stopów lekkich na bazie Al, ciężar zmniejszony o 75 kg [Mat. firm]

Fig. 5. The body of the new generation of BMW 5 vehicle of mixed construction – the steel trunk with front body of light alloys on the basis of Al, the weight diminished for 75 kgs

W budowie silników stopy aluminium są materiałem na tłoki. Dawno już stosuje się je na kadłuby silników o zapłonie iskrowym, ostatnio, pomimo mniejszej sztywności, także w silnikach o zapłonie samoczynnym, również w połączeniach z innymi materia-

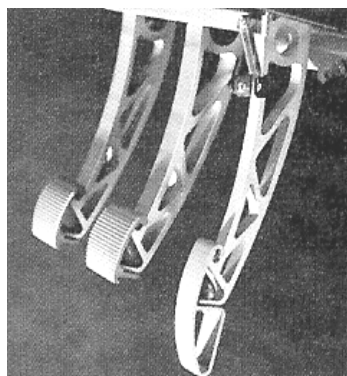
łami. Kadłub silnika o zapłonie samoczynnym sześciocyndrowego wykonany ze stopów aluminium może ważyć o ok. 35 kg mniej od żeliwnego, a cały silnik o ok. 50 kg mniej. Także wykonuje się z tych stopów głowice, kolektory, miski olejowe, dźwignie zaworowe, chłodnice, tuleje cylindrowe o niskim współczynniku tarcia, elementy układów klimatyzacji.

Cienkościenne rury ze stopów aluminium o większych średnicach wykorzystuje się w konstrukcji zawieszek, ram pomocniczych, wałów napędowych, półosi, także na obudowy skrzyń biegów (rys. 6). Stopy te wykorzystuje się do budowy wahaczy.

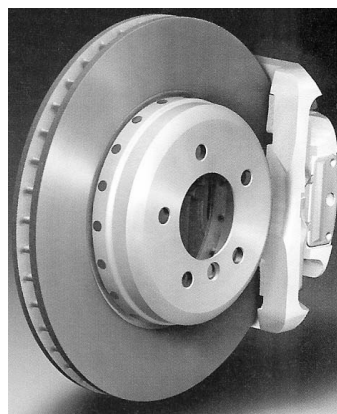


Rys. 6. Obudowa skrzyni biegów ze stopów i wspornik zawieszenia przedniego ze stopów Al
Fig. 6. The casing of the gear-box made of alloys and the bracket of the front suspension of alloys Al

Nowością jest zastosowanie w połączeniu z żeliwem do budowy tarcz hamulcowych, bębnow hamulcowych (rys. 8). Tarcze hamulcowe mogą mieć budowę mieszaną – pierścieniowa powierzchnia robocza wykonana jest z żeliwa szarego (wysoka odporność na ścieranie i dobre odprowadzenie ciepła), a kołnierz środkowy ze stopów aluminium (BMW 5). Tarcze hamulcowe z kolei mogą mieć budowę typu Al-Fin, z częścią nośną ze stopu lekkiego i wtopioną w nią żeliwną częścią roboczą.



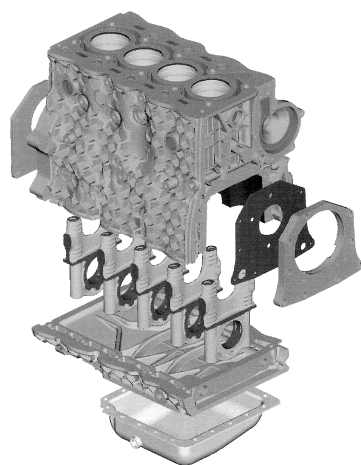
Rys. 7. Pedaly Lotus Elise ze stopów AL
Fig. 7. Pedals Lotus Elise made of alloys AL



Rys. 8. Tarcza hamulcowa pojazdu BMW 5 o konstrukcji mieszanej – powierzchnia czynna z żeliwa szarego i kołnierz środkowy ze stopu Al
Fig. 8. The brake backplate of BMW 5 vehicle of mixed construction – the active surface of grey-iron and the central collar of alloy Al

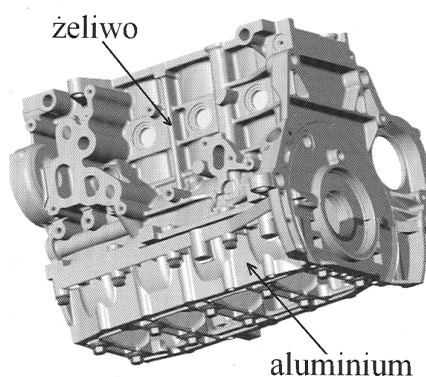
Od dawna oczywiście stosuje się je do budowy obręczy kół jako odlewy niskociśnieniowe, utwardzane dyspersyjnie, z dodatkiem krzemu i magnezu.

Kadłub silnika o konstrukcji zapewniającej dużą sztywność, intensywne tłumienie drgań i hałasu, przy znacznym zmniejszeniu jego masy przedstawiono na koncepcyjnym projekcie AVL (rys. 9). Blok cylindrów wykonany z aluminium ma budowę porowatą, zbliżoną do kształtu plastra miodu, usztywnioną pokrywą od dołu, co zapewnia wysoką sztywność, powiększoną dodatkowo stalową miską olejową. Przekładkowa (typu sandwich) konstrukcja miski olejowej powoduje istotne zwiększenia tłumienia drgań i hałasu. Żeliwne gniazda łożysk głównych stanowią osobną konstrukcję.



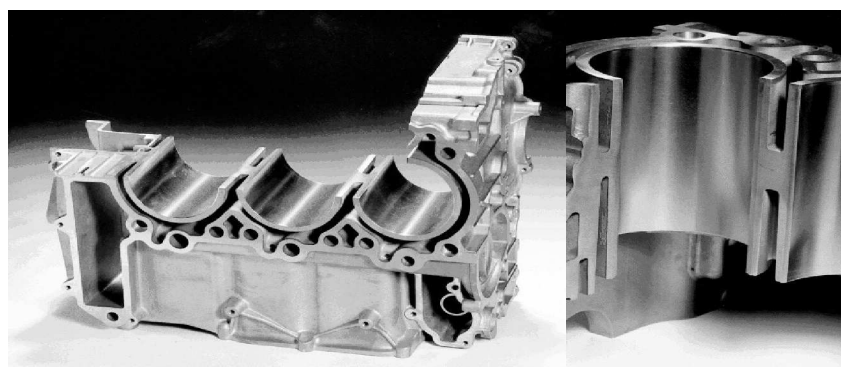
Rys. 9. Koncepcyjny projekt kadłuba silnika AVL [Idzior 2006b]

Fig. 9. The conceptional project crankcase of the engine AVL



Rys. 10. Kadłub silnika FIAT 1.3 JTD [Imarisio i in. 2005]

Fig. 10. Crankcase of the engine FIAT 1.3 JTD



Rys. 11. Aluminiowe, kompozytowe tuleje cylindrowe silnika samochodu Porsche [Idzior 2006b]
Fig. 11. Aluminum-composite cylinder liners of the Porsche engine

Nowy silnik Toyota 2.2 D-4D jest lżejszy od większości porównywalnych silników dzięki szerokiemu zastosowaniu aluminium, co w dieslach było raczej rzadkością. Zin-

tegowanie pompy cieczy chłodzącej i pompy oleju z pokrywa łańcucha dało kolejną oszczędność masy o 5%.

W silniku FIAT 1.3 JTD w celu ograniczenia masy kadłubu silnika jego dolną pokrywę zamykającą łożyska główne wykonano ze stopów lekkich na bazie aluminium (rys. 10). Z tego materiału wykonano też głowicę. Ze stopów lekkich na bazie aluminium wykonuje się też kadłub silnika Renault 2.0 dCi M9R 740.

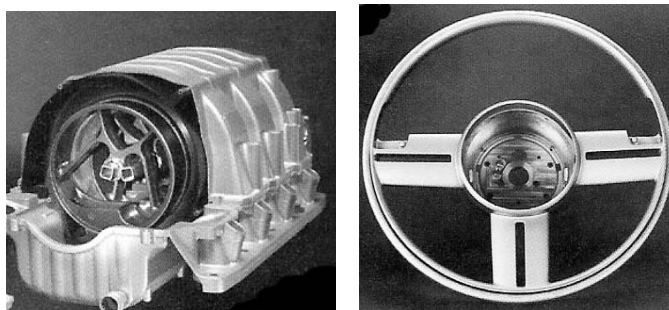
Silnik Honda i-CTDi z systemem wtrysku common rail o pojemności 2204 cm³ ma bardzo korzystny wskaźnik masowy, wynikający ze stosunku mocy do masy dzięki zastosowaniu lekkich stopów na bazie aluminium, zamiast stali i żeliwa. Moc 103 kW uzyskuje przy 4000 obr/min, maksymalny moment obrotowy 340 Nm już przy 2000 obr/min, co odpowiada normom EURO 4, przy bardzo niskim zużyciu paliwa, nawet do 4 dm³/100 km. Poza tym silnik jest bardzo cichy. Ma kadłub wykonany ze stopów aluminium o bardzo zwartej i sztywnej konstrukcji wykonany metodą TMM (Thixotropic Moulding Method) – ciśnieniowym odlewaniu z aluminium o konsystencji pasty we względnie niskiej temperaturze, dzięki czemu podczas chłodzenia nie powstają naprężenia wewnętrzne oraz nie następuje zmiana kształtu odlewu. Uzyskuje się bardzo wysoką dokładność odlewu oraz dużą wytrzymałość wewnętrznych wzmocnień kadłubu. Umożliwiło to przyjęcie odstępów między cylindrami 3 mm (zazwyczaj przy tych samych odstępach w kadłubach żeliwnych równych około 7 mm).

Aluminium jest atrakcyjnym materiałem nie tylko ze względów konstrukcyjnych, ale także ekologicznych. Ekologiczność aluminium polega na możliwości jego recyklingu nieskończoną ilość razy. W przypadku aluminium używanego w produkcji samochodów do powtórnego wykorzystania powraca 85–90% metalu.

Bardzo ważne dla ochrony środowiska jest pozyskiwanie aluminium i jego stopów ze zbiórki złomu, gdyż koszt przetopienia aluminium przy jednoczesnej oszczędności energii wynosi tylko 5% kosztów produkcji metodą elektrolizy w hucie. Przy nowoczesnych technologiach produkcji aluminium barierą dla powszechnego jego stosowania jest wciąż wysoka cena, a istniejąca w przemyśle motoryzacyjnym silna presja cenowa często zmusza koncerny samochodowe do stosowania stali.

Stopy magnezu

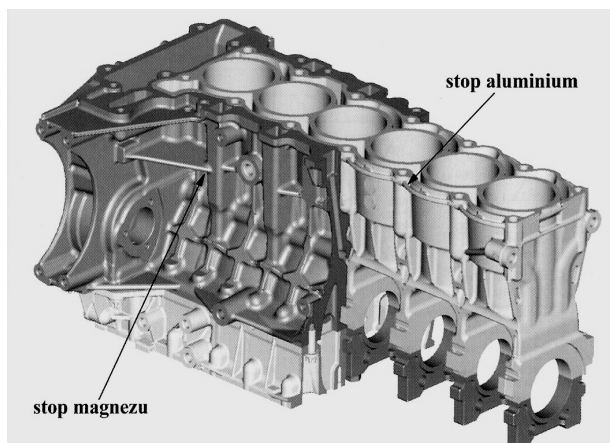
Stopy na bazie magnezu są bardzo lekkie (magnez – 1,74 g/cm³), przy jednak znacznie obniżonej wytrzymałości, podatne na zapalenie i wrażliwe na korozję. Stosuje się je jako stopy odlewnicze (z Mn, Al, Zn, Zr) lub do przeróbki plastycznej. Zainteresowanie stopami magnezowymi zwiększa się dzięki nowym możliwościom odlewania odlewów cienkościennych, o grubości ścianek dotychczas około 3 mm, a nawet do 1,5 mm. Znanych jest ponad 200 rodzajów stopów magnezowych. Stosuje się je na szkielety wielu elementów wyposażenia pojazdów, np. szkielety foteli, kół kierownicy, obudowy kolumny kierowniczej. Coraz częściej (zwłaszcza w samochodach sportowych) – do budowy bębnow hamulcowych, obręczy kół. W budowie silników stopy te wykorzystuje się na korbowody silników samochodów sportowych, do wytwarzania kadłubów, także obudów skrzyń biegów (rys. 12).



Rys. 12. Obudowa skrzyni biegów i szkielet koła kierownicy ze stopów magnezu [Mat. firm]

Fig. 12. The casing of the gear-box and the skeleton of steering gear made of magnesium alloys

Nowatorską konstrukcję kadłuba opracowano dla silnika BMW 3.0, 6-cylindrowego. Ma on bardzo zwartą i sztywną konstrukcję, wykonaną według zupełnie nowej technologii, łączącej elementy ze stopów lekkich aluminium i magnezowych (rys. 13). Zewnętrzne warstwy kadłuba wykonano ze specjalnego stopu magnezu AJ62, a wewnętrzne (tuleje z gniazdami łożysk głównych) z nadeutektycznych stopów aluminium. Obie te części są połączone w procesie odlewania ciśnieniowego, w którym następuje przenikanie obu materiałów, co zapewnia szczelność i wytrzymałość. Technologia ta obniżyła masę całego kadłuba o 24%, w porównaniu z wykonanym w całości ze stopów aluminium.



Rys. 13. Kadłub nowego silnika BMW 3.0 [Idzior 2006b]

Fig.13. Crankcase of the new engine BMW 3.0

Materiały ceramiczne

Należą one w zasadzie do tworzyw krystalicznych, mogą mieć jednak pewien udział fazy amorficznej. Cechuje je duża twardość i kruchość. Przeważnie są izolatorami elektrycznymi i cieplnymi, o znacznej odporności na korozję. Wadą ich są złe właściwo-

ści technologiczne, przez co wymagają specjalnych technik przetwarzania. Właściwości predestynują materiały ceramiczne do specjalnych zastosowań, np. do wyrobu elementów żaroodpornych, elektroizolacyjnych, termoizolacyjnych oraz jako specjalne materiały narzędziowe (ostrza narzędzi skrawających, środki ścierne i polerskie).

Materiały te są też coraz częściej wykorzystywane w motoryzacji z powodu dość ciekawych właściwości. Mają one wytrzymałość na rozciąganie porównywalną z żelazem przy gęstości ok. 5 g/cm^3 . Wszystkie tworzywa ceramiczne są materiałami twardymi, ale zarazem kruchymi. Spośród różnych cech materiałowych można wyróżnić korzystne i niekorzystne. Korzystne z punktu widzenia zastosowań inżynierskich są: duża twardość, mała gęstość, odporność na ściskanie, odporność na wysokie temperatury, izolacja termiczna, niewrażliwość na działanie środowiska zewnętrznego (np. korozyjnego). Niekorzystne cechy ceramiki to kruchość, niska plastyczność, wrażliwość na udary cieplne, skomplikowane procesy technologiczne. Ujemne cechy ograniczają inżynierskie zastosowania ceramiki. Dodatkowo cechy ceramiki przewyższają jednak jej wady, umożliwiając zastosowanie jej w skrajnych warunkach eksploatacji (np. wysokiej temperaturze, korozyjnym środowisku, erozji), w jakich nie można stosować metali i tworzyw sztucznych. Najbardziej znane to tlenek glinu z chromem, ewentualnie z dodatkiem tytanu i kobaltu.

Materiały te, stosowane od dawna w budowie świec zapłonowych i żarowych czy katalizatorach, zaczyna się wykorzystywać w tarczach hamulcowych (rys. 14). Przy masie około 50% niższej, powodują zdecydowany wzrost trwałości, skuteczności hamowania i odporności na korozję. Przewiduje się zastosowanie tych materiałów do budowy niektórych elementów silników, np. zaworów z azotków krzemu, znacznie lżejszych od stalowych.



Rys. 14. Tarcza hamulcowa z materiałów ceramicznych [Mat. firm]

Fig. 14. The brake backplate made of pottery-materials

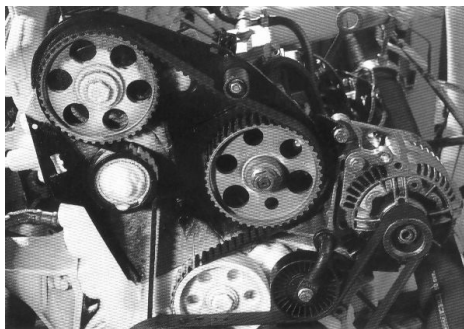
Tworzywa sztuczne

Materiały polimeryczne, tj. tworzywa sztuczne, należą do grupy tworzyw amorficznych. Odznaczają się stosunkowo dobrymi właściwościami mechanicznymi, są elektroizolatorami oraz są bardzo odporne na działanie czynników chemicznych. Zaletą ich jest mały ciężar właściwy, a wadą – mała odporność na działanie temperatur przekraczających $200\text{--}300^\circ\text{C}$ (organiczne związki węgla z wodorem i tlenem). Aktualnie obserwuje się ogromny wzrost zastosowania tworzyw sztucznych, coraz skuteczniej konkurujących z materiałami metalicznymi w zakresie elementów maszyn i zdecydowanie wypierają-

cych metale i szkło w zakresie opakowań, albo metale i drewno w zakresie elementów wystroju wnętrza i taboru komunikacyjnego. Jednym z powodów wzrostu produkcji tworzyw sztucznych jest możliwość wydatnego powiększenia ich cech mechanicznych przez tzw. zbrojenie (kompozyt), np. włóknami metalicznymi lub ceramicznymi.

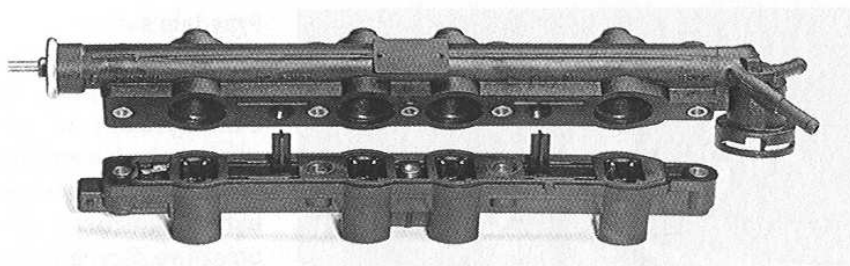
Materiały te to jednak grupa materiałów przyszłościowych w motoryzacji, zwłaszcza w budowie lekkich nadwozi samochodów. Współczesne typy samochodów osobowych i ciężarowych produkowanych seryjnie zawierają 200–300 elementów z tworzyw sztucznych o łącznej masie 40–100 kg (nie licząc opon), a na autobus zużywa się ponad 200 kg tworzyw. Pojazdy jednośladowe są również wyposażone w wiele elementów z tworzyw sztucznych.

Rozwój tworzyw sztucznych oraz ich wykorzystanie na przestrzeni lat może zilustrować fakt, że do Fiata 1500 z roku 1962 zużywano ich 11 kg, do Fiata 124 z 1968 roku już 25 kg, a do BMW z 1977 roku aż 100 kg. Stosowanie tworzyw sztucznych jest celowe w szczególności ze względu na zmniejszenie zużycia energii przy produkcji elementów samochodowych. Zastąpienie metali tworzywami sztucznymi w samochodzie tam, gdzie to jest tylko możliwe daje więc ogromne oszczędności energetyczne (rys. 15–17). Ma to również korzystny wpływ na zużycie paliwa w okresie eksploatacji samochodu. Od dawna stosuje się je na mniej odpowiedzialne elementy poszycia zewnętrznego – błotniki, pokrywy komory silnika i bagażnika, dach, także na zderzaki, klosze i obudowy lamp. Coraz częściej stosuje się tworzywa wzmocnione włóknem węglowym.



Rys. 15. Koła pasowe wykonane z materiałów kompozytowych na bazie Al/SiC

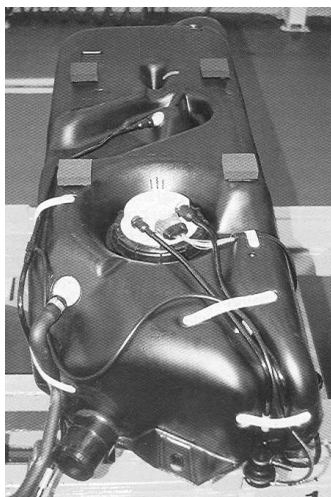
Fig. 15. Pulleys made of composite materials based on Al/SiC



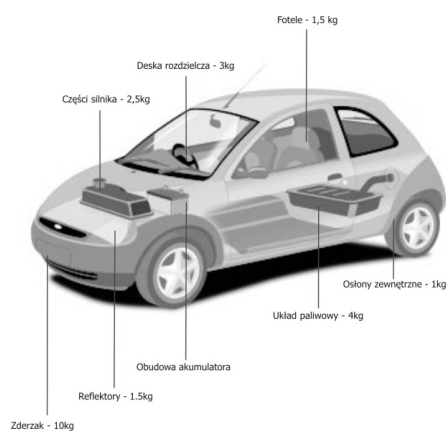
Rys. 16. Pokrywa i listwy paliwowe z tworzywa PA (z włóknem szklanym)

Fig. 16. A cover and fuel ducts made of PA (with glass fiber)

Przykładem jest BMW serii 6 (dach, szkielet boku nadwozia) czy Mercedes SLR McLaren (szkielet wnętrza nadwozia, przegroda czołowa, drzwi, pokrywa silnika i in. – razem około 50 elementów).



Rys. 17. Zbiornik paliwa z poliamidu
Fig. 17. A fuel tank made of polyamide



Rys. 18. Zastosowanie tworzyw sztucznych w konstrukcji samochodu
Fig. 18. The use of plastics in the construction of the car

Kompozyty

Istnieje wiele definicji kompozytu, jednak ich istota jest taka sama. Kompozyty to materiały składające się z co najmniej dwóch komponentów o różnych właściwościach. Tworzy się je po to, aby uzyskany materiał miał lepsze właściwości i (lub) nowe w stosunku do komponentów użytych osobno. Kompozyt jest materiałem monolitycznym, lecz z widocznymi granicami między komponentami [Boczkowska i in. 2003].

Każdy materiał ma określone cechy i właściwości. Istnieje grupa materiałów ciągliwych z możliwością odkształceń plastycznych, np. aluminium wraz z innymi miękkimi metalami, oraz duża grupa polimerów. Znane są również materiały w postaci włókien, np. włókna węglowe, szklane lub włókna boru o wytrzymałości na rozciąganie ponad 3500 MPa. Wymienione włókna mają niestety istotną wadę – są bardzo kruche. Kompozyt to wynik dążeń do wykorzystania tylko korzystnych cech obydwu grup materiałów i wyeliminowania ich wad. Po „zatopieniu” kruchego i bardzo wytrzymałego włókna w aluminium lub w żywicy epoksydowej powstaje kompozyt, który może przetrzeć wielokrotnie większe siły niż włókna rozciągane oddzielnie. Można zatem zdefiniować kompozyt jako materiał złożony z miękkiej osnowy oraz wytrzymałych włókien, łączący cechy dodatnie składowych i pozbawiony ich cech ujemnych. Kompozyty są odpowiedzią na wciąż rosnące zapotrzebowanie przemysłu na materiały o lepszych wskaźnikach konstrukcyjnych i eksploatacyjnych. Ich szybki rozwój powoduje, że nowo powstające materiały często wychodzą poza ramy znanych definicji materiałów. Jest to powodem braku powszechnie akceptowanej definicji kompozytów, a także ich ujednoliconej nazwy.

Współczesne materiały kompozytowe tworzone są pod kątem uzyskania żądanych właściwości. Uzyskiwane wskaźniki, szczególnie wytrzymałościowe, są praktycznie nieosiągalne w „klasycznych” materiałach (tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie właściwości stali konstrukcyjnej i kompozytów
Table 1. Chart of construction steel's and composites' properties

Cecha	Stal konstrukcyjna	Kompozyt epoksydowo-szklany	Kompozyt epoksydowo-węglowy	Kompozyt epoksydowo-aramidowy
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	400÷1400*	360÷1200**	625÷2040**	520÷1400**
Ciężar właściwy, G/cm ³	7,8	1,92	1,57	1,38

* w zależności od gatunku

** w zależności od kierunku zbrojenia

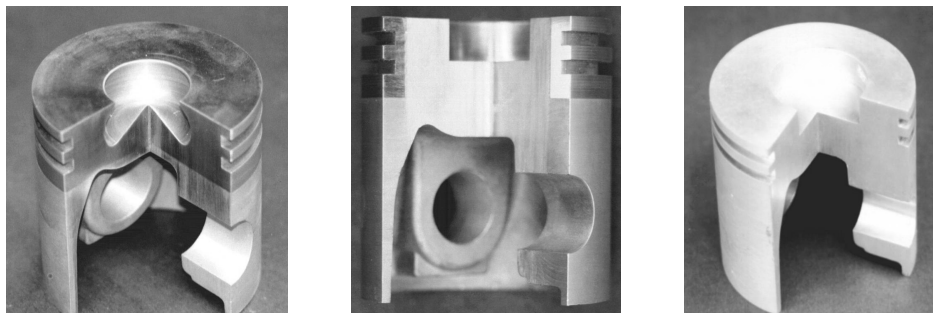
Rosnące wykorzystanie kompozytów wiąże się także z obniżaniem masy samochodu. Według ekspertów BMW można dzięki temu zmniejszyć masę bloku napędowego (w tym silnika) o ok. 200 kg. Nowoczesne osnowy polimerowe mogą pracować w znacznie wyższych temperaturach niż 15 lat temu.

Z kompozytów o osnowie metalicznej wykonuje się denka tłoków silników wysokoprężnych – kompozyt: stopy aluminium i krótkie włókno węglowe lub SiO₂. Także półosie napędowe mogą być wykonywane z kompozytu stop aluminium i cząstki Al₂O₃. Ceramiczne kompozyty konstrukcyjne w motoryzacji wykorzystywane są na hamulce pojazdów samochodowych.

Przemysł samochodowy jest największym odbiorcą kompozytów TWM, czyli termoplastów wzmocnionych matami. Wykorzystuje się je do wykonania pokryw silnika, gniazd do osadzenia lamp w samochodach, obudów skrzyni biegów, części wyciszających.

Szerokie zastosowanie praktyczne, również w motoryzacji, znalazły włókna aramidowe o handlowej nazwie kevlar. Włókna w postaci samodzielnej oraz w postaci kom-

pozytów stosuje się na opony, okładziny sprzęgieł, wykładziny hamulcowe, obudowy chłodnic, pasy klinowe, uszczelki głowic.



Rys. 19. Przykłady tłoków kompozytowych wykonanych metodą prasowania w stanie ciekłym
Fig. 19. Examples of composite pistons made according to the method of pressing in the liquid state

Kompozyty i włókna, głównie węglowe, znajdują coraz szersze zastosowanie w nadwoziach nowoczesnych samochodów, np. w konstrukcji Forda GT 2005. Pokrywa bagażnika wykonana z włókna węglowego waży 6,4 kg i jest o ok. 50% lżejsza od podobnej struktury aluminiowej oraz aż o 75% od struktury stalowej.

Nanomateriały

Są to polikrystaliczne substancje złożone z ziaren nieprzekraczających 100 nanometrów (nm); $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$. Mają postać np. proszków, cienkich warstw lub izolowanych (nanometrycznych) cząstek. Wytwarza się je w laboratoriach naukowych od połowy lat osiemdziesiątych z wykorzystaniem metod mechanicznych, fizycznych lub chemicznych [Jurczyk i Jakubowicz 2004]. Od kilku lat obserwuje się szybki rozwój nanotechnologii, nowej dziedziny z pogranicza nauki i techniki.

Duże znaczenie nanomateriałów wynika stąd, że technologie stosowane do ich wytwarzania pozwalają otrzymać tworzywa o składzie i właściwościach niemożliwych do uzyskania metodami znanymi dotychczas. Charakteryzują się specyficznymi cechami, np.:

- lepszą wytrzymałość mechaniczną w porównaniu z materiałami konwencjonalnymi – dzięki temu, że materiały ceramiczne o strukturze nanometrycznej mogą mieć skład fazowy i chemiczny nieosiągalny metodami konwencjonalnymi;
- superplastyczność – zjawisko powodowane przez zmniejszenie wielkości ziaren tworzyw ceramicznych do skali nanometrów; niektóre materiały ceramiczne o wielkości ziaren od 400 do 500 nm można poddawać odkształceniu do 150%;
- odporność na pękanie najnowocześniejszych wysokotemperaturowych konstrukcyjnych materiałów ceramicznych, takich jak np. azotek krzemu czy węgiel krzemu, może być zwiększona prawie o rząd wielkości przez wytworzenie ich w postaci nanomateriałów typu zerowymiarowego.

W motoryzacji przewiduje się stosowanie nanomateriałów do produkcji części silnie obciążonych i narażonych na ekstremalne obciążenia.

ZAKOŃCZENIE

Okres eksploatacji pojazdu obejmuje etapy projektowania, produkcji, eksploatacji oraz likwidacji. Każdy z tych etapów może negatywnie wpływać na środowisko i na każdym z tych etapów prowadzi się działania proekologiczne i energooszczędne. Głównym celem takich działań jest stosowanie materiałów i technologii zmniejszających ujemny wpływ motoryzacji na środowisko. Jednym z ważniejszych problemów jest wprowadzanie do produkcji pojazdów nowoczesnych ekologicznych materiałów konstrukcyjnych. Do budowy pojazdów samochodowych stosowane są różne materiały metalowe i niemetalowe. O zastosowaniu konkretnego materiału decydują przede wszystkim jego właściwości, cena, ale także to, jakie skutki dla środowiska niesie za sobą jego produkcja, użytkowanie oraz likwidacja. Przeznacza się zatem coraz większe środki na badania i rozwój materiałów konstrukcyjnych. Dąży się m.in. do: potanienia dotychczas stosowanych materiałów; oszczędności energii przez doskonalenie procesów spalania paliwa wymagającego wyższych obciążeń cieplnych, co wymaga materiałów o dobrych właściwościach w wyższych temperaturach pracy; wytwarzania materiałów niewystępujących w przyrodzie, np. kompozytów składających się z włókien węglowych w osnowie z żywicy epoksydowej; tworzenia materiałów przyjaznych środowisku, odnawialnych lub możliwych do powtórnego wykorzystania; tworzenia materiałów umożliwiających wytwarzanie wyrobów i energii w sposób przyjazny dla środowiska, np. produkcja specjalnych stali do budowy urządzeń.

Nowo powstające materiały są coraz bardziej ekologiczne z różnych względów. Ekologiczna może być ich produkcja, czy w końcu sposób ich recyklingu i ponowne wykorzystanie.

Wśród nowoczesnych materiałów pojawiających się w produkcji samochodów obserwuje się rosnący udział szczególnie tworzyw sztucznych – polimerów, a także coraz ciekawszych kompozytów, stopów lekkich na bazie aluminium i magnezu oraz najnowszych nanomateriałów.

Coraz większe wymagania stawiane przed przemysłem motoryzacyjnym w zakresie ekologii mobilizują naukowców, inżynierów i producentów do pracy nad projektowaniem takich materiałów, które zapewnią nie tylko lepsze właściwości trakcyjne pojazdów czy większy komfort jazdy, ale spowodują ograniczenie ich negatywnego oddziaływania na środowisko, również z ograniczeniem zużywanej energii na etapie ich wytwarzania oraz w całym okresie eksploatacji.

PIŚMIENNICTWO

- Boczkowska A. Kapuściński J. Lindemann Z., Witemberg-Perzyk D., Wojciechowski S. 2003: Kompozyty. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- Idzior M. 2003: Proekologiczne technologie w procesach produkcji środków transportu. Inżynieria Maszyn, 8, 4.
- Idzior M. 2005: Nowe technologie wytwarzania samochodowych silników spalinowych w aspekcie wymogów ekologii. Materiały PTNSS, Bielsko-Biała/Szczyrk.
- Idzior M. 2006: Energetyczne aspekty rozwoju silników spalinowych o zapłonie samoczynnym. Materiały I Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Gospodarka energetyczna” ENERGIA’2006, PAN Oddział w Lublinie.

- Idzior M. 2006: Rozwój silników spalinowych w aspekcie metod ich wytwarzania. Silniki Spalinowe 1, 124.
- Imarisio R., Giardina-Papa, Siracusa M. 2005: Nowy silnik wysokoprężny 1,3 dm 90 kM. Silniki Spalinowe 3.
- Jurczyk M., Jakubowicz J. 2004: Nanomateriały ceramiczne. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- Materiały firm: BMW, Ford, Mercedes, Toyota, Volkswagen, Volvo.

DIRECTIONS OF CHANGES OF MATERIALS IN MOTORIZATION IN VIEW OF ECOLOGICAL REQUIREMENTS

Summary. The article presents tendencies connected with the introduction of modern ecological constructional materials to production vehicles. The use of a particular material is decided first of all by its properties, the price, but also by what environmental results are brought about by its production, use and liquidation. New materials are discussed, as well as their uses with examples of construction and prospects of development.

Key words: the motorization, materials, the ecology