



## Niekonwencjonalne napędzanie samochodów

– sposób na obniżenie kosztów transportu i zmniejszenie zanieczyszczenia środowiska

*Zbigniew Sosin*

*Instytut Fizyki UJ*

### Wstęp

W pewnym momencie historii ludzkości pojawiła się potrzeba sprawnego przemieszczania się ludzi, jak i transportu wytwarzanych przez nich towarów. Z czasem gwałtownie zwiększała się ilość energii zużywanej na ten cel w porównaniu z energią wydatkowaną na inne zadania, jak np. zdobywanie i wytwarzanie pożywienia, przemysł, rolnictwo, czy obsługa gospodarstw domowych. Już dziś udział energii przeznaczanej na transport stanowi ok. 25% ogółu wykorzystywanej energii i jak twierdzą eksperci, będzie się on dalej zwiększał. Sytuację dodatkowo komplikują kurczące się zapasy wykorzystywanych do tej pory paliw kopalnych, ich wzrastające ceny oraz coraz poważniejsze problemy ekologiczne. Dlatego też prowadzone są intensywne prace nad optymalizacją istniejących rozwiązań technologicznych, m.in. zwiększeniem sprawności stosowanych silników lub opracowanie zupełnie nowych rozwiązań, które mogłyby zastąpić te wykorzystywane obecnie.

W prezentowanym artykule postaramy się przedyskutować główne źródła strat stosowanych obecnie silników i zastanowić się, w jaki sposób można je zminimalizować. Stanowić to będzie punkt wyjścia do dalszych rozważań nad nowymi koncepcjami technologicznymi, które mogą znaleźć zastosowanie w samochodach przyszłości.

### Jak oszczędnie jeździć samochodem?

Podczas ruchu samochodu silnik musi wykonać pracę, aby rozpędzić pojazd oraz po to, by utrzymać go w ruchu pokonując opory jazdy. Jak wiadomo, wielkość energii kinetycznej  $E_k$  potrzebna do rozpędzenia samochodu związana jest z jego masą  $m$ , jak i uzyskiwaną prędkością  $v$ , zgodnie ze wzorem  $E_k = mv^2/2$ . Jeśli jazda odbywa się w mieście, to ruch odbywa się pomiędzy skrzyżowaniami, na których samochód często się zatrzymuje. W standardowych pojazdach, zatrzymanie samochodu równoznaczne jest z całkowitą utratą energii  $E_k$ , tak więc jednym ze sposobów na ograniczenie energii jest zminimalizowanie strat. Minimalizacja ta może być związana ze zmniejszeniem masy samochodu (zależność liniowa) lub zmniejszeniem maksymalnej uzyskiwanej prędkości (zależność kwadratowa). Zwłaszcza ograniczenie prędkości, szczególnie na krótkich międzypostojowych odcinkach, może znacznie zmniejszyć zużycie paliwa,

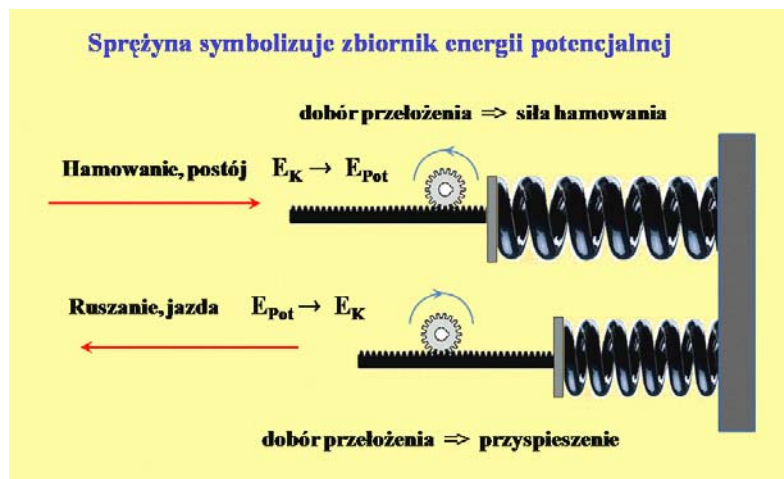
jak również podnieść bezpieczeństwo ruchu. Powoduje to jednak wydłużenie czasu przejazdu, co może stanowić poważny problem. Dlatego też stosując to rozwiązanie należy kierować się zdrowym rozsądkiem – nasza jazda powinna być płynna i oszczędna, a jednocześnie nie może ona zbytnio utrudniać ruchu innym pojazdom. Obserwując ruch miejski możemy zauważyć, że praktycznie nigdy samochody zatrzymujące na światłach nie wyłączają silników. Spowodowane jest to nieprzystosowaniem ich silników do takiego właśnie stylu jazdy. A przecież podczas postoju na światłach, czy „jazdy” w korku, energia wytwarzana przez silnik zamieniana jest na ciepło i w ten sposób bezpowrotnie tracona. Nowe rozwiązania technologiczne powinny zatem uwzględnić oba te fakty w celu optymalizacji energii wydatkowanej na ruch samochodu.

Prowadząc rozważania dotyczące oszczędnej jazdy nie sposób pominąć problemu sprawności silnika. Sprawność silnika spalinowego, który jest silnikiem cieplnym o spalaniu wewnętrznym, determinowana jest przez tzw. *stopień kompresji*, czyli temperaturę spalania mieszanki paliwowej. Dlatego też stopień kompresji jest jednym z czynników decydujących o wielkości zużycia paliwa. Dzięki wysiłkom konstruktorów, obserwowany jest systematyczny postęp w tej dziedzinie. Niezależnie jednak od niego, silniki paliwowe posiadają olbrzymią wadę związaną z brakiem możliwości ich pracy w cyklu odrotnym, tzn. przetwarzania energii kinetycznej w potencjalną. Nie ma zatem możliwości wyeliminowania strat, o których mowa była w poprzednim paragrafie. Z tego powodu, w prezentowanym artykule koncentrować się będziemy jedynie na alternatywnych sposobach napędzania samochodów, tzn. takich, które nie opierają się wyłącznie na silnikach spalinowych,

Jak wiadomo, opory ruchu, zwłaszcza przy stosowaniu większych prędkości, również stanowią poważne źródło strat energii i znacząco wpływają na wielkość zużycia paliwa. Ich ograniczenie jest możliwe poprzez optymalizację kształtu karoserii samochodu. Dzięki postępowi w fizycznych metodach opisu i badania oporów ruchu, również w tej dziedzinie zanotowano znaczący postęp, który pozwolił na optymalizację kształtów karoserii samochodów. Z tego też powodu większość współczesnych aut jest do siebie bardzo podobna.

### **Hamowanie pozwalające na odzyskanie energii**

Jak pokazaliśmy w poprzedniej części, hamowanie samochodu jest bardzo znaczącym źródłem strat energii. By móc je wyeliminować, niezbędne jest zastosowanie dodatkowych urządzeń, które pozwolą na przekazanie i zmagazynowanie odzyskanej energii tj. przetwornika zmieniającego energię ruchu na inną formę energii, która może być gromadzona w zbiorniku.



Na rysunku przedstawiony został najprostszy przykład takiego właśnie urządzenia, które wielu z nas pamiętać może z okresu dzieciństwa – samochód zabawkę. W samochodzie tym zbiornik energii potencjalnej stanowi sprężyna, którą przed rozpoczęciem ruchu należy naciągnąć. Możemy jednak łatwo wyobrazić sobie, że ściskanie sprężyny odbywa się podczas hamowania rozpędzonego samochodu. Zwróćmy uwagę, że przy takim hamowaniu **nie wydziela się ciepło**, a energia sprężystości może być ponownie wykorzystana. W tym rozwiązaniu jednak pewną trudność może stanowić regulacja siły hamowania. Z tego powodu jego praktyczne wykorzystanie pociągałoby za sobą konieczność zastosowania układu zmiennych przełożeń dla zębatego koła i zębatego koła. Istnieją również pewne ograniczenia związane z bezpieczeństwem takiego rozwiązania, ponieważ zbyt silne napięcie sprężyny, w razie jej zerwania, mogłoby stanowić spore zagrożenie dla osób jadących pojazdem.

Okazuje się jednak, że istnieje szereg innych możliwości pozwalających na przetwarzanie i gromadzenie energii ruchu samochodu. Sposoby te można podzielić na dwie grupy:

1. Zamiana energii kinetycznej na energię elektryczną, a następnie gromadzenie jej w odpowiednio dużych kondensatorach albo w akumulatorach. Obecnie to rozwiązanie wydaje się najbardziej obiecujące, choć posiada ono swoje istotne ograniczenia. Omówimy je w dalszej części artykułu. Pisaliśmy również o nim w poprzednim numerze *Fotonu* (Nr 101).
2. Zamiana energii kinetycznej samochodu na inną formę energii mechanicznej. W takim przypadku wybór konkretnego rozwiązania związany jest z rozmiarami i masą pojemnika danej formy energii. Oprócz wspomnianej już energii sprężystości, można tu także rozważyć energię rotacji lub energię kompresji powietrza albo innego gazu.



Zajmijmy się na początek tym drugim rozwiązaniem. Ruch wirowy od dawna wykorzystywany był do magazynowania energii i w oparciu o niego budowane są różnego rodzaju pojemniki energii. W tego typu urządzeniach magazynowanie energii odbywa się poprzez wprowadzenie pewnego wirującego obiektu, np. masywnego koła, w ruch. Jeżeli obiekt ten obraca się szybko, gromadzona jest w nim energia. Energię tę można odzyskać spowalniając koło i zamieniając ją np. na energię elektryczną.

Możliwość gromadzenia energii mechanicznej z wykorzystaniem wirującej masy wykorzystywana jest w technologii *Flywheel*, m.in. w stacjach kosmicznych. Podczas gdy statek kosmiczny znajduje się po oświetlonej stronie Ziemi, za zasilanie odbiorników pokładowych odpowiadają baterie słoneczne. Nadmiar energii elektrycznej zasila silnik, który „rozkreca” wirującą masę. Gdy statek kosmiczny znajduje się w cieniu Ziemi (baterie słoneczne nie dostarczają energii), wtedy energia zgromadzona w postaci energii rotacji napędza generator, który wytwarza potrzebną energię elektryczną. Warto zwrócić uwagę, że taki akumulator energii jest znacznie trwalszy i mniej wrażliwy na zmiany temperatury od standardowego, chemicznego akumulatora.

Inne rozwiązanie związane jest z wykorzystaniem energii kompresji, dzięki której można poruszać silniki pneumatyczne. Rozwiązanie to polega na wykorzystaniu gazu, najczęściej powietrza, sprężonego w specjalnych zbiornikach do ciśnienia kilkudziesięciu MPa. Ze zbiornika powietrze dostarczane jest do cylindrów przez system podobny do klasycznego wtrysku. Powietrze działając na tłok porusza go, co w konsekwencji umożliwia ruch samochodu. Ważną zaletą tego typu silników jest ich „ekologiczność”. Jedyne produktem „spalania” takiego silnika jest zimne powietrze. Silniki pneumatyczne od dawna stosowane są w różnego typu pojazdach.

W rozważaniach zastosowania różnych form energii potencjalnej dla gromadzenia energii mechanicznej nie sposób pominąć potencjalnej energii grawitacyjnej. Jakkolwiek jej gromadzenie w samochodzie jest raczej trudne do praktycznej realizacji, to możliwość jej magazynowania w czasie jazdy „pod górkę”, a następnie jej wykorzystanie podczas jazdy w dół, jest nam dobrze znana, a zarazem doskonale obrazuje rozważane tu zagadnienie.

### **Praktycznie stosowane rozwiązania**

Przyjrzymy się teraz niektórym rozwiązaniom, które umożliwiają stosowanie „hamowania odzyskowego”. Rozważymy trzy typy samochodów dające takie możliwości, tj. samochody o napędzie pneumatycznym, elektrycznym i hybrydowym

### **Samochód z napędem pneumatycznym**

Niektóre szacunki możliwego stopnia kompresji powietrza, uwzględniające wytrzymałość mechaniczną materiałów użytych do budowy butli, w których magazynowana jest energia pneumatyczna, sugerowały, że zasięg samochodów wykorzystujących to rozwiązanie nie mógłby być większy niż 100 km. Gdyby tak rzeczywiście było, znacznie ograniczałoby to możliwości użytkowe tego typu samochodów. Na szczęście skonstruowany we Francji prototyp samochodu o napędzie pneumatycznym pozwolił na osiągnięcie całkiem obiecujących parametrów: maksymalnej prędkości 110 km/h, zasięgu 200–300 km oraz ładowności 0,5 tony. Przewidywany czas tankowania *Family*, bo tak go nazwano, za pomocą kompresora elektrycznego wynosi 4 godziny, podczas gdy na stacji ze sprężonym powietrzem można będzie tego dokonać w 3 minuty. Jakkolwiek parametry te mogą być może nieco zawyżone, pozwalają wiązać pewne nadzieje z tego typu rozwiązaniem.

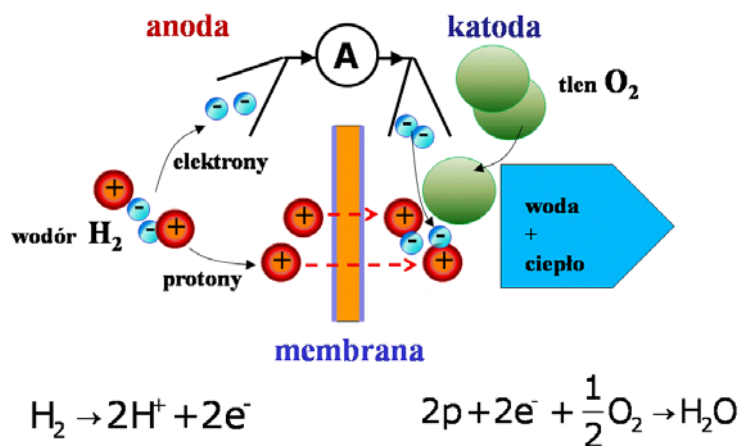


Stosunkowo duży zasięg tych samochodów związany jest ze specjalną konstrukcją silnika, zapewniającą mu wysoką sprawność oraz technologią wytwa-

rzania butli na sprężone powietrze. Podczas napędzania samochodu powietrze ulega rozprężeniu, co powoduje jego ochłodzenie. Może to w upalne dni zostać wykorzystane dla ochłodzenia wnętrza pojazdu. Sam silnik nie wymaga również układu chłodzenia, co upraszcza konstrukcję układu napędowego. Jest oczywiste, że w czasie hamowania silnik może pracować jak kompresor, co pozwala na odzyskiwanie energii. Licencja na produkcję tego samochodu zakupiona została już przez hiszpańskie i hinduskie fabryki.

### Samochód o napędzie elektrycznym

Ze względu na wysoką sprawność silników elektrycznych, dużą efektywność odzyskiwania energii hamowania oraz łatwość sterowania przepływem energii, optymalnym rozwiązaniem rozważanego problemu wydają się być samochody z napędem elektrycznym. Dodatkowymi atutami tego typu pojazdów jest brak konieczności stosowania skrzyni biegów i układu chłodzenia silnika. Największą jednak słabością tego rozwiązania jest duży stosunek masy źródła dostępnej energii do ilości energii otrzymanej z tego źródła. Innymi słowy, masa i objętość akumulatorów potrzebnych do przejechania większych dystansów jest stosunkowo duża. Zmiana sytuacji w tej dziedzinie stanowi przedmiot badań i poszukiwań wielu ośrodków naukowo-badawczych, a osiągnięty sukces może spowodować gwałtowną rewolucję na rynku motoryzacyjnym. Aby poprawić sytuację w tym zakresie stosuje się dodatkowe, nieakumulatorowe źródła energii elektrycznej, jak np. ogniwa paliwowe i baterie słoneczne. W takim przypadku klasyczny akumulator służy głównie do magazynowania energii hamowania.



Zastosowanie dodatkowych źródeł energii elektrycznej ma również swoje ograniczenia. Przykładowo, wydajność niektórych źródeł prądu, np. wodorowych ogniw paliwowych, zmniejsza się wraz z wielkością pobieranego prądu.

Dlatego przy zastosowaniu takiego źródła akumulator ładowany jest z niego równomiernie w czasie stosunkowo małym prądem. W przypadku wyższego zapotrzebowania na prąd, np. podczas ruszania czy przyspieszania, akumulator staje się głównym źródłem zasilania silnika. Taka organizacja pracy źródeł energii powoduje znaczne zwiększenie sprawności układu zasilania.

Różne firmy od lat testują rozwiązania tego typu. Jako przykład przedstawimy rozwiązanie zastosowane w samochodzie Honda FCX Clarity, którego sprzedaż planuje się na rok 2008 w salonach w Japonii i USA. Ten elektryczny samochód, oprócz akumulatorów litowo-jonowych, wyposażony jest w wodoro-we ogniwo paliwowe. Ogniwo to jest zasilane z kriostatycznego zbiornika z ciekłym wodorem o objętości 171 litrów. Taki system zasilania pozwala na uzyskanie maksymalnej prędkości 160 km/h i zasięgu 440 km.

Główną wadą tego samochodu jest sposób magazynowania wodoru. Gaz ten powoli, ale systematycznie paruje ze zbiornika. Po tygodniu jego ilość zmniejsza się mniej więcej o połowę. Dlatego po zatankowaniu wodoru należy go stosunkowo szybko zużyć.

Głównym problemem związanym z zastosowaniem baterii słonecznych jako nieakumulatorowych źródeł prądu, jest ich stosunkowo niewielka moc i niska wydajność. Dlatego też nie mogą one zostać wykorzystane jako efektywne źródło uzupełniania energii akumulatora. Z tego też powodu, mimo trwających od wielu lat prac, nie udało się do tej pory skonstruować samochodu wykorzystującego energię słoneczną.

Innym, nieco bardziej futurystycznym rozwiązaniem, jest propozycja zastosowania nowoczesnego pantografu, który mógłby być montowany np. na autostradach. W takim przypadku samochód mógłby być „tankowany” w trakcie jazdy, a sam pantograf mógłby pełnić rolę automatycznego pilota.

Wiele ciekawych rozwiązań można również zaczerpnąć z badań prowadzonych nad sposobami dostarczania energii do stacji kosmicznych. Ciekawym przykładem jest technologia AMTEC, która wykorzystuje unikalne własności ceramicznego elektrolitu  $\text{AlO}_2$ . Elektrolit ten dzieli dwa obszary: jeden z nich zawiera sód w postaci gazowej pod wysokim ciśnieniem i w wysokiej temperaturze (od 900 do 1300 K), w drugim sód jest skraplany i ochładzany do temperatury ok. 500 K. Unikalna własność elektrolitu  $\text{AlO}_2$  polega na „obdzieraniu” z elektronów atomów przechodzących przez niego ze zbiornika o wyższym ciśnieniu do zbiornika o niższej temperaturze. W ten sposób generowane są dodatnio naładowane jony i ujemnie naładowane elektrony. Ponieważ cały układ znajduje się w polu elektrycznym, jony dodatnie sodu zbierają się na katodzie, zaś elektrony wędrują do anody. Stąd są one odprowadzane do odbiorników energii elektrycznej, a następnie do katody, gdzie ponownie łączą się z jonami tworząc obojętne atomy sodu. Sód skraplany w chłodnicy wędruje przez zespół kapilar ponownie do parownika. W ten sposób uzyskujemy możliwość przetwarzania energii cieplnej na elektryczną (która jest równoważna

mechanicznej), bez stosowania silnika cieplnego. Symulacje teoretyczne pokazują, że sprawność silników wykorzystujących to rozwiązanie może dochodzić do 40%. Ponieważ podobną sprawność osiągają silniki spalinowe, technologia AMTEC może być dla nich konkurencyjna. Warunkiem jednak jest osiągnięcie małych rozmiarów i masy przetwornika ciepła na energię elektryczną. Jeśli jednak tak się nie stanie, wciąż większe możliwości daje zastosowanie silnika spalinowego. W ten sposób dotarliśmy do najpopularniejszego dziś rozwiązania, jakie stanowi napęd hybrydowy.

### **Samochody hybrydowe**

Idea napędu hybrydowego polega na zastosowaniu dwu różnych silników (napędów) dla poruszania pojazdu. Prosty przykładem pojazdu z napędem hybrydowym jest motorower. Od razu jednak zauważmy, że idea ta jest kompletnie nieopłacalna w przypadku nierównomiernego korzystania z elektrycznych i spalinowych typów napędów. Przykładowo, gdy udajemy się w długą podróż autostradą, gdzie nie będziemy zbyt często używali hamulców, to energia zgromadzona w akumulatorach stosunkowo szybko się skończy. W takiej sytuacji silniki elektryczne, generatory i akumulatory stanowią zbędny balast zwiększający zużycie paliwa! Jest to sytuacja analogiczna do przypadku motoroweru, w którym wyczerpało się paliwo. Jest on wtedy znacznie gorszym rozwiązaniem od klasycznego roweru. Jedyne uzasadnienie dla napędu hybrydowego stanowi ruch miejski, gdzie częste hamowania, postoje na skrzyżowaniach i jazda w korkach pozwalają na odzyskanie energii kinetycznej ruchu i optymalne wykorzystanie mocy silnika spalinowego. W ruchu miejskim takie rozwiązanie daje możliwość bardzo dużej, sięgającej nawet do ok. 50%, oszczędności energii. Zważywszy na intensywność ruchu samochodowego w naszych miastach, oszczędności te mogą być olbrzymie w skali globalnej. Wśród samochodów hybrydowych można wyróżnić trzy różne rozwiązania, które schematycznie przedstawiono na rysunku. Są nimi: hybryda szeregową, hybryda równoległą i hybryda mieszana.

### **Hybryda o napędzie szeregowym**

W tym rozwiązaniu koła samochodu są napędzane przez silnik elektryczny, zaś silnik spalinowy poprzez generator służy jedynie do ładowania akumulatorów. Akumulator i silnik elektryczny umożliwiają sterowanie mocą napędu samochodu. Idea, która przyświeca temu rozwiązaniu, polega na zoptymalizowaniu pracy silnika spalinowego, tak, by pracował on cały czas przy optymalnych obrotach, wykorzystując największą sprawność.

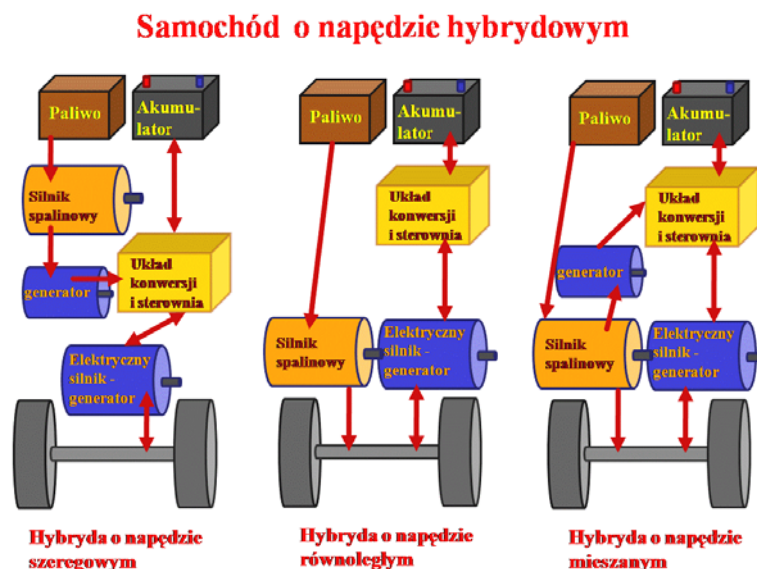


### Hybryda o napędzie równoległym

W rozwiązaniu szeregowym koncentrujemy się na optymalizacji pracy silnika spalinowego, a poprzez to na minimalizacji zużycia paliwa. Niemniej czasami, dla zwiększenia osiągnięć samochodu, kuszące może być użycie obu silników równocześnie (uzyskanie większych przyspieszeń przy ruszaniu i wyprzedzaniu). Wówczas napęd na koła samochodu powinien pochodzić z obu silników. Takie rozwiązanie zwiększa nieco zużycie paliwa, ale też poprawia znacznie możliwości samochodu.

### Hybryda o napędzie mieszanym

W tym rozwiązaniu kierowca (bądź komputer) decyduje o sposobie napędu. Samochód może być napędzany zarówno w układzie szeregowym, jak i równoległym.



### Podsumowanie

Zmiana sposobu napędzania samochodów może doprowadzić do znacznych oszczędności zużycia energii. W ruchu miejskim oszczędności te mogą sięgać nawet do 50%. Można będzie tego dokonać przez optymalizację wykorzystania energii i jej odzyskiwanie w trakcie hamowania samochodu. Ten ostatni aspekt jest szczególnie istotny. Dlatego też jest on szeroko analizowany w laboratoriach fizycznych i chemicznych na całym świecie. Wypada mieć nadzieję, że spore środki finansowe przeznaczone na ten cel doprowadzą do ciekawych i ekonomicznych rozwiązań, które w konsekwencji spowodują rewolucję na rynku samochodowym.