

Maciej Gis

Instytut Transportu Samochodowego

ELEKTRYFIKACJA TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO

Prace nad dalszym rozwojem silników spalinowych zaczynają być niewystarczające, aby spełnić restrykcyjne normy emisyjne narzucane przez Unię Europejską dla flot pojazdów. Dlatego coraz silniejszy nacisk kładzie się na inne źródła napędu albo łączone źródła napędu. Obecnie promowane są rozwiązania m.in. hybrydowe, w pełni elektryczne oraz wodorowe. Są to rodzaje pojazdów, które w najbliższej przyszłości będą znacząco rozwijane.

W artykule przedstawiony został przegląd głównych rozwiązań technicznych, wraz z ich zaletami i wadami, stosowanymi zarówno w przypadku spalinowych silników tłokowych, jak też pojazdów hybrydowych i w pełni elektrycznych czy zasilanych ogniwami wodorowymi. Artykuł stanowi podsumowanie wybranych dotychczasowych rozwiązań stosowanych w motoryzacji, bezpośrednio wpływających na ochronę środowiska naturalnego człowieka.

ELECTRIFICATION OF MOTOR TRANSPORT

A further development of the internal combustion engine are beginning to be insufficient to meet the strict standards imposed by the European Union for fleet of vehicles. Therefore, more and more emphasis is placed on other sources of power or combined power source. Currently promoted solutions are, among others, hybrid-electric and hydrogen. These types of vehicles in the near future will be significantly developed.

The article is presented an overview of the main technical solutions, along with their advantages and disadvantages, they used both for internal combustion engines as well as hybrid vehicle, fully electric vehicles and vehicles powered by hydrogen cells. The article is a summary of selected existing solutions in the automotive industry, directly affecting the protection of the natural environment.

1. Wprowadzenie

Mobilność oraz transport stały się kluczowymi dobrami współczesnej społeczności. Ciągły ich rozwój spowodował, że ludzie nie wyobrażają sobie życia bez własnych pojazdów albo szeroko rozwiniętej sieci komunikacyjnej. Wraz z nieprzerwanym rozwojem pojawiły się problemy związane z emisją substancji szkodliwych oraz zwiększającą się liczbą pojazdów, co w efekcie negatywnie wpływa na środowisko naturalne. Dowodem tego są liczne przekroczenia stężenia związków szkodliwych, powodujących smog nad miastami.

Lata starań i walki z wielkolitrażowymi silnikami spowodowały, że na chwilę obecną rynek posiada małowitrazowe, niskoemisyjne jednostki napędowe montowane w pojazdach, zasilane paliwami konwencjonalnymi, spełniającymi restrykcyjne normy narzucone przez Unię Europejską (obecnie w UE obowiązuje norma Euro 6 (samochody lekkie) i Euro VI (samochody ciężkie)). Biorąc pod uwagę roczną sprzedaż pojazdów na poziomie 65 milionów sztuk na świecie, niezbędne są zdecydowanie bardziej zastrzone działania, które zrewolucjonizują współczesną motoryzację.

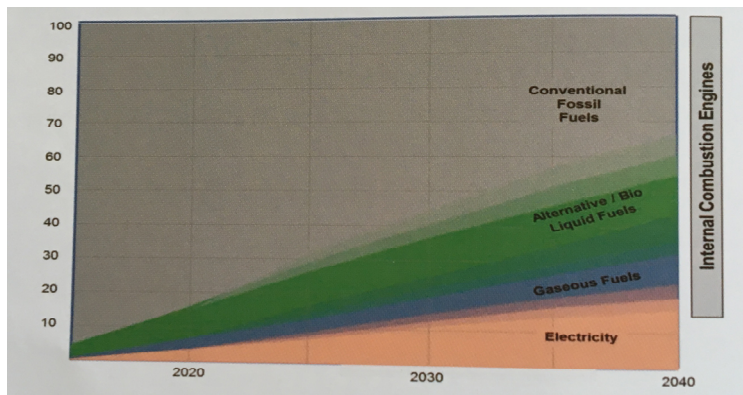
Aby tego dokonać potrzebne są długoterminowe działania, które w efekcie doprowadzą do „czystego” i zrównoważonego wykorzystywania energii ze źródeł odnawialnych w transporcie.

Strategia Unii Europejskiej „Europa 2020” zakłada, że do 2020 roku planowane jest ograniczenie emisji gazów cieplarnianych o co najmniej 20% w porównaniu do poziomu emisji z 1990 r. (trzydzieści procent w przypadku sprzyjających warunków międzynarodowych), ograniczenie rzędu 20% w zakresie zużycia energii w Unii Europejskiej. Zakłada się również udział energii odnawialnej w zużyciu energii w UE na poziomie 20% oraz 10% udział energii odnawialnej w energii zużywanej przez sektor transportu [13], [17].

W legislacji dotyczącej zmian klimatycznych, jednym z najistotniejszych celów Unii Europejskiej będzie ww. cel ograniczenia emisji gazów cieplarnianych o 20% do 2020 roku w porównaniu do poziomu z 1990 roku [7], [8]. Przemysł samochodowy stanowi bowiem ważną część gospodarki. W UE zatrudnionych jest w nim bezpośrednio 10 mln osób. Odpowiada on za ok. 5% unijnego PKB [1].

W innym ze scenariuszy opracowanym przez Unię Europejską (EU Climate and Framework) opartym na redukcji emisji we wszystkich sektorach transportu w Europie, mówi się o zmniejszeniu emisji GHG w UE od 80 do 95% do 2050 roku w porównaniu do poziomu emisji z roku 1990. Pośrednim celem jest natomiast obniżenie o 40% emisji GHG do roku 2030 (w odniesieniu do emisji z roku 1990), przynajmniej 27% udział pojazdów zasilanych ze źródeł odnawialnych oraz przynajmniej 27% poprawa efektywności energetycznej [9].

Inny scenariusz przygotowany przez ERTRAC przewiduje, że w długoterminowej strategii, wykraczającej poza rok 2040, sześćdziesiąt procent nowych samochodów osobowych w Europie będzie nadal zasilana przez silniki spalinowe. Poza tym na rynku będą dostępne pojazdy hybrydowe, elektryczne z range extenderem, jak też wykorzystujące paliwa alternatywne (gaz ziemny) – rysunek 1. Mniej więcej ten sam procent wykorzystania silników spalinowych będzie dotyczył pojazdów ciężkich [9].

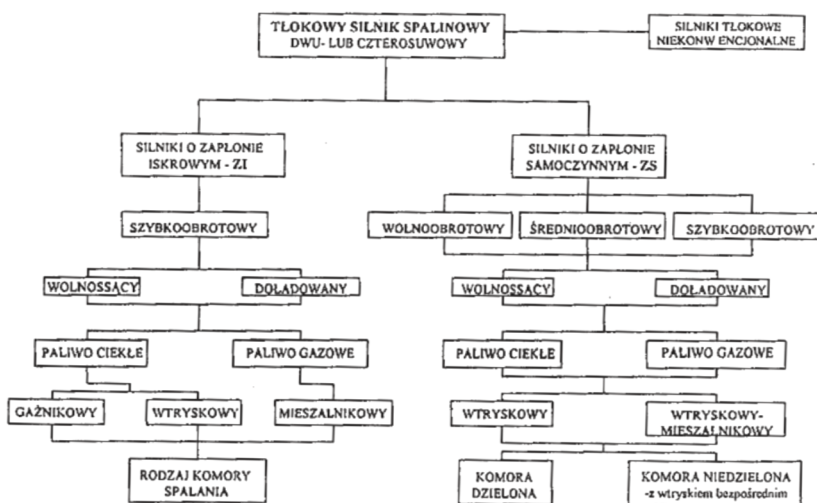


Conventional Fossil Fuels – Konwencjonalne paliwa kopalne
Alternative/Bio Liquid Fuels – Paliwa alternatywne/biopaliwa ciekłe
Gaseous Fuels – Paliwa gazowe
Electricity – Elektryczność
Internal Combustion Engines – Silniki spalania wewnętrznego

Rys. 1. Wykorzystywanie energii do transportu pasażerskiego do 2040 roku [9]
 Fig. 1. Energy use for passenger cars by 2040 [9]

2. Pojazdy z silnikami spalinowymi

Silniki spalinowe okazały się jak dotąd być idealnym źródłem napędu do pojazdów. Miało na to wpływ wiele czynników choćby duża sprawność ogólna jednostek spalinowych, znaczne możliwości rozwoju tych konstrukcji czy choćby małe ceny paliw we wcześniejszych latach. Rozwój silnika spalinowego można podzielić na dwa etapy. Pierwszy dotyczy silnika o zapłonie iskrowym, natomiast drugi silnika o zapłonie samoczynnym. Poszczególne etapy ich kolejnych ewolucji przedstawia rys. 2.



Rys. 2. Schemat podstawowych charakterystyk tłokowych silników spalinowych [26]
 Fig. 2. Scheme of the basic characteristics of internal combustion engines [26]

Wieloletnie prace nad silnikiem spalinowym doprowadziły do znacznego postępu technologicznego. Wprowadzenie do silników bezpośredniego wtrysku paliwa oraz turbodoładowania znacząco wpłynęły na obniżenie emisji substancji szkodliwych, a także dwutlenku węgla.

Najpowszechniejszym rozwiązaniem w silnikach spalinowych jest zastosowanie downsizingu. Zmniejszanie objętości skokowej oraz stosowanie jednocześnie doładowania niesie za sobą wiele korzyści [16, 22]. Można tu wymienić m.in.:

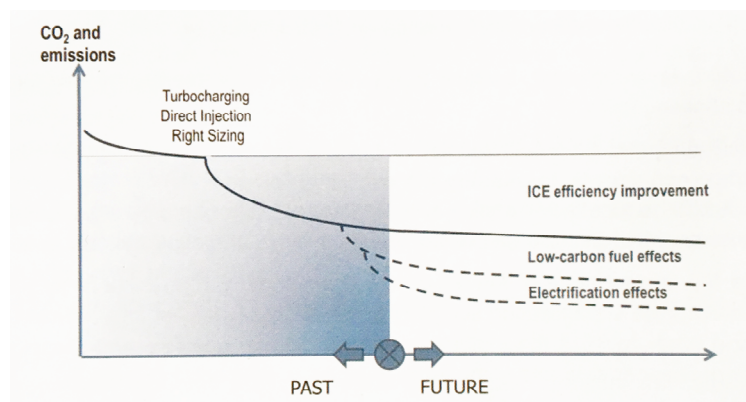
- możliwość ograniczenia objętości skokowej silnika a nawet zmniejszenie liczby cylindrów jako przejaw tzw. „agresywnej” koncepcji downsizingu,
- korzystny sposób kształtowania przebiegu momentu obrotowego silnika, duże wartości już przy małych prędkościach obrotowych,
- poprawa sprawności ogólnej w zakresie kilku procent, szczególnie przy turbodoładowaniu,
- powiększenie sprawności wolumetrycznej, szczególnie w przypadku chłodzenia powietrza doładującego (intercooling) oraz wzrostu zawirowania i lepszego przepłukania cylindrów.

Mimo wielu zalet downsizingu ma ona też wiele ograniczeń związanych z [16, 22]:

- spełnieniem wymagających norm emisji składników spalin (głównie NOx),
- ograniczeniem stopnia sprężania,
- spalaniem stukowym mieszanki palnej w silnikach ZI,
- aspektami termodynamicznymi, charakterem pracy silnika, stratami cieplnymi,
- uwarunkowaniami wytrzymałościowymi proporcjonalnymi do stopnia wysilenia silnika,
- uwarunkowaniami trybologicznymi (ograniczone możliwości zmniejszenia strat tarcia),
- wzrostem kosztów silnika proporcjonalnym do stopnia skomplikowania silnika i osprzętu.

Znaczący wzrost kosztów związany ze stopniem skomplikowania silników spalinowych powoduje, że taka koncepcja ma znaczne ograniczenia [16].

Mimo wielu prób dopracowania silnika spalinowego, działania te są niewystarczające dlatego trwają prace nad dalszym rozwojem silników tłokowych o spalaniu wewnętrznym. Jedną z możliwości działania dla poprawy efektywności silnika spalinowego może być wykorzystanie do jego zasilania, paliwa o niskiej zawartości węgla albo go zelektryfikowanie. Na poniższym rys. 3, przedstawiono dotychczasowe oraz przyszłe działania związane z obniżeniem emisji CO₂ z silnika spalinowego [9].



CO₂ and emissions – CO₂ i emisje
Turbocharging – Doładowanie
Direct Injection – Wtrysk bezpośredni
Right Sizing – Dopasowanie objętości skokowej silnika do pojemności
ICE efficiency improvement – Polepszenie efektywności silnika spalania wewnętrznego
Low-carbon fuel effects – Efekt stosowania paliwa niskowęglowego
Electrification effects – Efekt związany z elektryfikacją
Past – Przeszłość
Future – Przyszłość

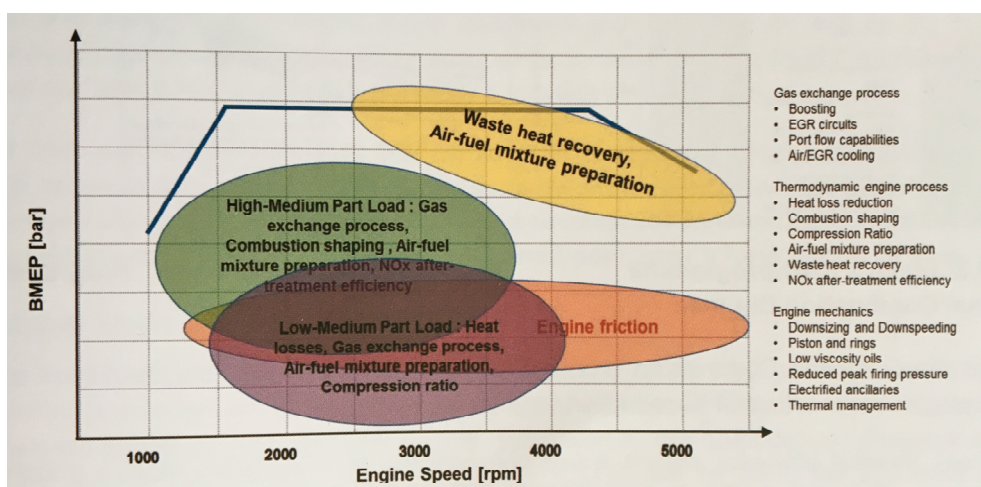
Rys. 3. Trend zmniejszenia emisji CO₂ z silnika spalinowego poprzez zastosowanie różnych rozwiązań technicznych [9]

Fig. 3. Trend reduce CO₂ emissions from the internal combustion engine through the use of different technical solutions [9]

Według [9] postęp w optymalizacji silnika spalinowego o spalaniu wewnętrznym można podzielić na trzy etapy:

1. poprawa sprawności samego silnika,
2. wykorzystanie niskoemisyjnych paliw, umożliwiających praktycznie zerową emisję dwutlenku węgla
3. elektryfikacji, w tym hybrydyzacji.

W [9] podano też, że zakłada się również wzrost ogólnej efektywności cieplnej silnika spalinowego w całym zakresie jego pracy. Na rys. 4 przedstawiono główne warunki, jakie muszą zostać spełnione w silniku tłokowym aby zwiększyć jego efektywność cieplną, a po prawej stronie listę potencjalnych możliwości osiągnięcia tych założeń.



BMEP – Średnie ciśnienie efektywne (hamowniane)

Engine speed – Prędkość obrotowa

Low-Medium Part Load – Małe-średnie obciążenie częściowe

High-Medium Part Load – Duże-średnie obciążenie częściowe

Heat losses – Straty ciepłe

Gas exchange proces – Proces wymiany ciepła

Air-fuel mixture preparation – Przygotowanie mieszanki powietrzno-paliwowej

Compression Ratio – Stopień sprężania

Combustion shaping – Kształtowanie procesu spalania

NO_x – aftertreatment efficiency – Efektywność zmniejszenia emisji NO_x w układzie wylotowym

Waste heat recovery – Odzyskiwanie ciepła traconego

Gas exchange proces – Proces wymiany gazowej

Boosting – Wspomaganie doładowania

EGR circuits – Układ EGR

Port Flow capabilities – Usprawnienie przepływu szczelinowego

Thermodynamic engine proces – Proces termodynamiczny w silniku

Heat loss reduction – Zmniejszenie strat ciepła

Piston and rings – Tłok i pierścienie

Low viscosity oils – Oleje smarujące o małej lepkości

Reduced peak firing pressure – Zmniejszenie tzw. Peak firing

Thermal managment – Zarządzanie termodynamiczne

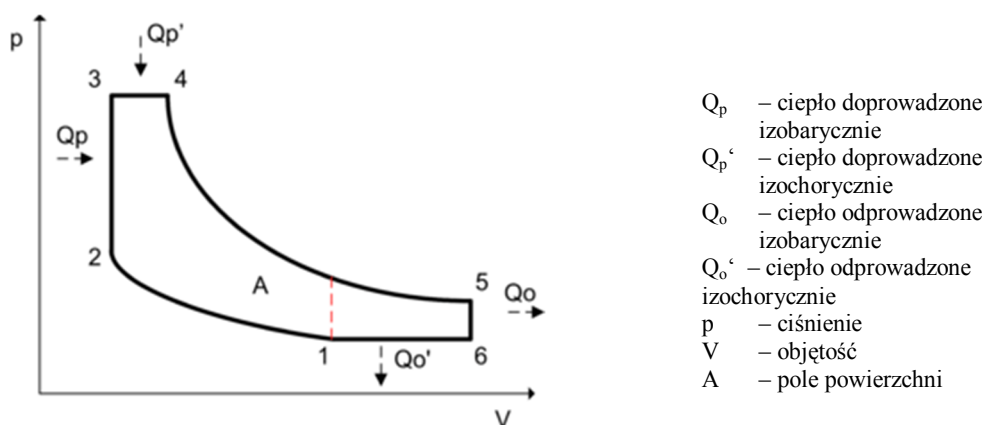
Electrified ancillaries – Elektryfikacja

Rys. 4. Poprawa pracy silnika dla uzyskania wyższej skuteczności cieplnej silnika spalinowego w zależności od prędkości obrotowej silnika [9]

Fig. 4. Improving the operation of the engine to achieve higher thermal efficiency of the internal combustion engine depending on engine speed [9]

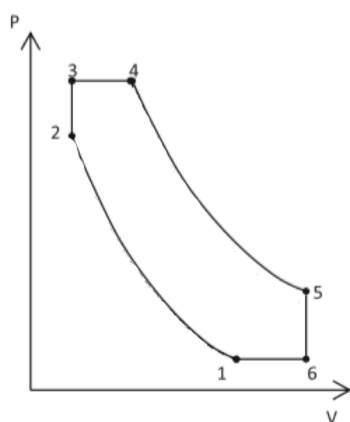
Zmniejszenie tarcia i ograniczanie strat ciepłych w warunkach obciążeń częściowych jest istotne w silnikach o zapłonie iskrowym. Może to być osiągnięte przez zaawansowane systemy kontroli sterowania układu zaworów (możliwość powodowania dezaktywacji cylindrów) i wdrażanie nowatorskich rozwiązań technologicznych w przypadku stosowania powłok powierzchniowych materiałów i wykorzystywania smarów o małej lepkości [9].

Innymi działaniami bezpośrednio wpływającymi na pracę i efektywność spalinowych silników jest wykorzystanie w ich przypadku niekonwencjonalnych obiegów ciepłych Atkinsona i Millera (rys. 5 i 6), zastosowanie zaawansowanych systemów zaworowych oraz lepsze dostosowanie pracy silnika, tak aby nie doprowadzać do konieczności pracy na zbyt bogatej mieszance paliwowo-powietrznej.



Rys. 5. Teoretyczny obieg Atkinsona [29]
 Fig. 5. Theoretical cycle Atkinson [29]

Jednostka napędowa pracująca w cyklu Atkinsona charakteryzuje się lepszą sprawnością w średnim zakresie prędkości obrotowej. W odniesieniu do cyklu Otta różnica polega na opóźnionym zamknięciu zaworów podczas suwu sprężania. Nie sprzyja to uzyskiwaniu dużej mocy maksymalnej, bezpośrednio wpływa to na obniżenie zużycia paliwa oraz zwiększenie sprawność podzespołu. Cykl Atkinsona stosowany jest w przypadku wolnossących silników o zapłonie iskrowym.



Rys. 6. Teoretyczny obieg Millera [15]
 Fig. 6. Theoretical cycle Miller [15]

Cykl Millera w odróżnieniu od cyklu Atkinsona jest stosowany w silnikach z zapłonem iskrowym z turbodoładowaniem. W tym cyklu podczas suwu sprężania dochodzi do wcześniejszego bądź późniejszego zamknięcia zaworów dolotowych. Dzięki temu rozwiązaniu uzyskuje się mniejsze zużycie paliwa, a tym samym mniejszą emisję choćby dwutlenku węgla. Cykl Millera wykorzystywany jest m.in. w benzynowym silniku Volkswagena 1.4 TSI z turbodoładowaniem.

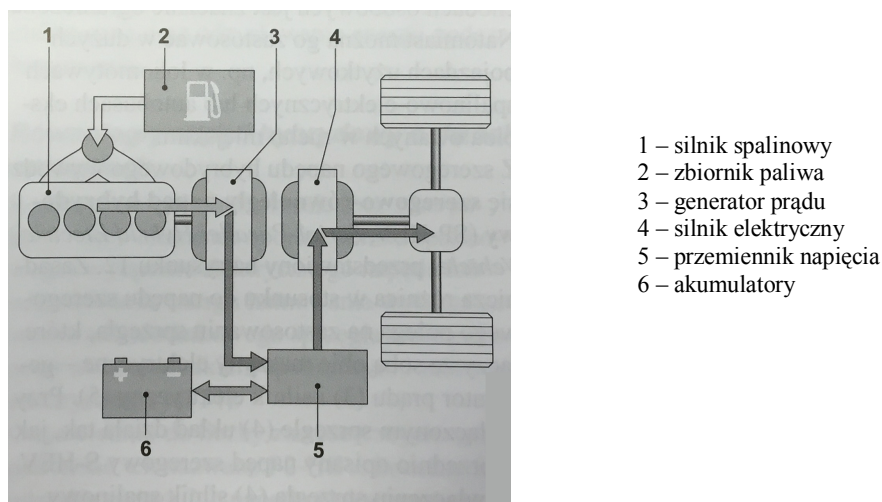
Wszystkie działania związane z silnikami spalinowymi mają na celu zmniejszenie emisji substancji szkodliwych spalin, spełnienie restrykcyjnych norm emisji spalin stanowiących przez Unię Europejską, jak też maksymalne ograniczenie zużycia paliwa. Możliwości techniczne są jednak w tej dziedzinie ograniczone. Dlatego trwają prace nad alternatywnymi źródłami zasilania.

3. Pojazdy hybrydowe

Półśrodkiem do pełnego uniezależnienia się od paliw ropopochodnych są pojazdy hybrydowe. Zastosowanie elektrycznego napędu hybrydowego umożliwia realizację trzech głównych celów: oszczędnego zużycia paliwa, zmniejszenia emisji toksycznych składników spalin oraz zwiększenia momentu obrotowego i mocy (co zwiększa komfort jazdy). W zależności od założonego celu głównego, stosuje się różnorodne rozwiązania napędu hybrydowego [6].

Rozróżnia się w zasadzie trzy rodzaje układów hybrydowych [6]: **szeregowy, równoległy oraz tzw. szeregowo-równoległy.**

Układ szeregowy – w układzie szeregowym (S-HEV, *Serial Hybrid Electric Vehicle*) generator prądu (3), napędzany silnikiem spalinowym (1), zasilanym paliwem ze zbiornika (2), wytwarza energię elektryczną. Przeziennik napięcia (5) przetwarza energię zgodnie z żądaniem kierowcy i zasila silnik elektryczny (4) odpowiedzialny za napęd kół, a jej nadmiar przekazywany jest do akumulatorów (6). Moc, umożliwiającą ruch pojazdu przekazywana na wał napędowy, pochodzi wyłącznie z silnika elektrycznego (4) [1]. W szeregowym układzie hybrydowym silnik spalinowy nie jest połączony z osiami napędowymi pojazdu (rys. 7).



Rys. 7. Schemat szeregowego hybrydowego układu napędowego [6]

Fig. 7. Scheme serial hybrid system [6]

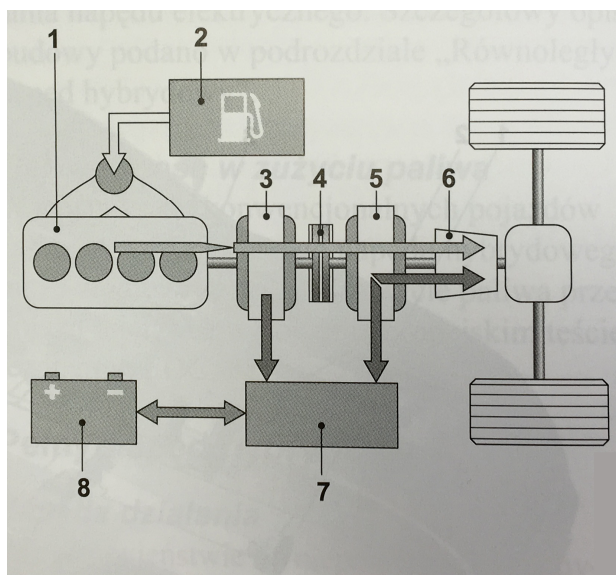
Do zalet tego rozwiązania można zaliczyć m.in. [6]:

- możliwość dowolnego wyboru punktu pracy silnika spalinowego w czasie, jeżeli do dyspozycji jest wymagana ilość energii elektrycznej,
- mniejszą emisję substancji szkodliwych spalin w porównaniu do pojazdów zasilanych silnikami wyłącznie spalinowymi, z wyjątkiem emisji NO_x .

Do wad natomiast można zaliczyć [6]:

- konieczność kilkukrotnego przetwarzania energii związanej ze stratami sprawności (straty nawet do 30%),
- duże koszty,
- dużą masę oraz wymiary układu napędowego.

Układ szeregowo-równoległy – układ szeregowo-równoległy (SP-HEV, *Serial-Parallel Hybrid Electric Vehicle*) wywodzi się z układu szeregowego. W odniesieniu do układu szeregowego różnica polega na zastosowaniu sprzęgła, które łączy ze sobą silnik elektryczny (5) z generatorem prądu (4). W sytuacji gdy sprzęgło jest rozłączone układ pracuje jak napęd szeregowy (S-HEV). Gdy sprzęgło jest załączone to silnik spalinowy (1) może oddawać moc bezpośrednio na osie napędowe, co odpowiada równoległemu układowi hybrydowemu (rys. 8) [6].



- 1 – silnik spalinowy
- 2 – zbiornik paliwa
- 3 – generator prądu
- 4 – sprzęgło
- 5 – silnik elektryczny
- 6 – skrzynia biegów
- 7 – przemiennik napięcia
- 8 – akumulatory

Rys. 8. Schemat szeregowo-równoległego hybrydowego układu napędowego [6]

Fig. Scheme 8. The series-parallel hybrid system [6]

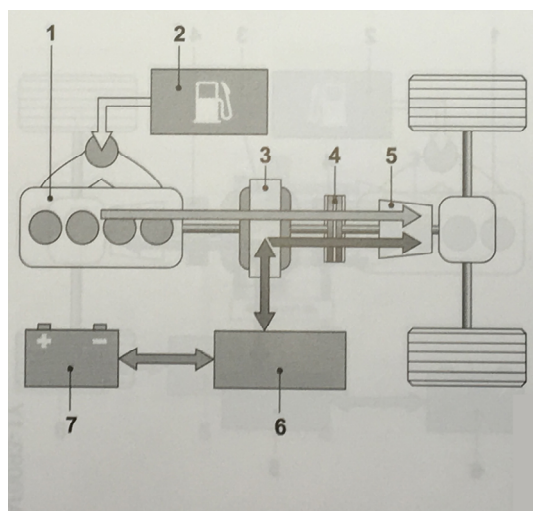
Do zalet tego układu można zaliczyć m.in. [6]:

- mniejszą emisję substancji szkodliwych spalin w porównaniu do pojazdów zasilanych silnikami wyłącznie spalinowymi, z wyjątkiem emisji NO_x ,
- większą sprawność całkowitą,
- możliwość zastosowania maszyn elektrycznych.

Wadami są natomiast [6]:

- duże koszty,
- duża masa oraz wymiary układu napędowego.

Układ równoległy – w równoległym napędzie hybrydowym (P-HEV, *Parallel Hybrid Electric Vehicle*) występuje jedna maszyna elektryczna. Jest ona połączona mechanicznie wałem korbowym silnika i może pracować jako generator prądu lub silnik elektryczny. Idea tego rozwiązania zakłada dodawanie momentu obrotowego, przy którym udziały momentu pochodzącego od silnika spalinowego lub elektrycznego mogą być dowolnie dobierane. Z kolei prędkość obrotowa obu silników pozostaje w stałym stosunku. W układzie równoległym przy załączonym sprzęgle możliwe jest wyłącznie mechaniczne przekazywanie siły napędowej z silnika spalinowego na osie napędowe, niezależnie od stanu pracy silnika elektrycznego (rys. 9) [6].



- 1 – silnik spalinowy
- 2 – zbiornik paliwa
- 3 – silnik elektryczny
- 4 – sprzęgło
- 5 – skrzynia biegów
- 6 – przemiennik napięcia
- 7 – akumulatory

Rys. 9. Schemat równoległego hybrydowego układu napędowego o jednym sprzęgle [6]

Fig. 9. Scheme of the parallel hybrid powertrain with a clutch [6]

Zaletą takiego rozwiązania jest [6]:

- większa sprawność niż w przypadku układu szeregowego i szeregowo-równoległego,
- możliwość zachowania konwencjonalnego układu napędowego w szerokim zakresie jego pracy,
- łatwiejsza technologia produkcji pojazdu,
- mniejsze nakłady niezbędne do opracowania i wdrożenia równoległego układu hybrydowego w samochodzie osobowym,
- mniejsze koszty adaptacji już produkowanych pojazdów.

Do wad można zaliczyć [6]:

- brak możliwości dowolnego wyboru punktu pracy, ze względu na trwałe związanie prędkości obrotowej obu silników,

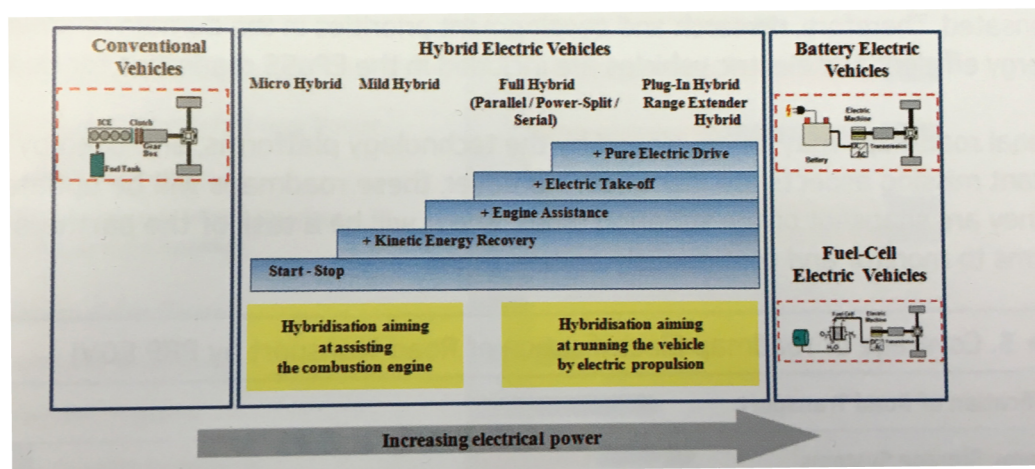
Rozróżnia się parę rodzajów równoległego układu hybrydowego. Można wymienić m.in.: układ o jednym sprzęgle, o dwóch sprzęglach, o rozdzielonych osiach, o różnych skrzynkach biegów, o rozdzielonej mocy lub dwuzakresowy [6].

W innym podziale ze względu na moc jednostki elektrycznej rozróżnia się następujące rodzaje układów hybrydowych [2]:

- **Micro** – rola jednostki elektrycznej ograniczona się do pracy przy rozruchu silnika spalinowego,

- **Mild** – wspomaganie silnika elektrycznego przez spalinową jednostkę napędową podczas przyspieszania,
- **Full** – ciągłe wspieranie silnika spalinowego przez jednostkę elektryczną bądź samodzielne napędzanie pojazdu na krótkich dystansach (hybrydowe układy szeregowo, szeregowo-równoległe oraz równoległe).
- **Plug-in** – ciągłe wspieranie silnika spalinowego przez jednostkę elektryczną bądź samodzielne napędzanie pojazdu na dystansach do 50 km. Ładowanie akumulatorów z zewnętrznych źródeł energii.

Klasyfikację hybrydowych układów napędowych przedstawiono na rys. 10.



Coventional Vehicles – Pojazdy konwencjonalne

Hybrid Electric Vehicles – Elektryczne pojazdy hybrydowe

Electric Take-off – Elektryczny rozruch

Kinetic Energy Recovery – Odzysk energii kinetycznej

Engine Assistance – Wykorzystanie silnika spalinowego

Pure Electric Drive – Czysta energia elektryczna

Hybridisation aiming at assisting the combustion engine – Hybrydyzacja przy wykorzystaniu silnika spalinowego

Hybridisation aiming at running the vehicle by electric propulsion – Hybrydyzacja przy napędzie elektrycznym

Battery Electric Vehicle – Pojazdy elektryczne

Fuel-Cell Electric Vehicles – Elektryczne pojazdy wyposażone w ogniwo paliwowe

Rys. 10. Klasyfikacja hybrydowych układów napędowych [2]

Fig. 10. Classification of hybrid propulsion systems [2]

Zaletą układów hybrydowych jest też zmniejszenie emisji substancji szkodliwych podczas postoju samochodu. Dodatkowym atutem jest możliwość między innymi w przypadku np. układów szeregowo-równoległych (full hybrid) znaczące zmniejszenie emisji substancji szkodliwych np. na krótkich dystansach lub (plug-in) na długich dystansach do 50 km, co ma istotne znaczenie w ruchu miejskim.

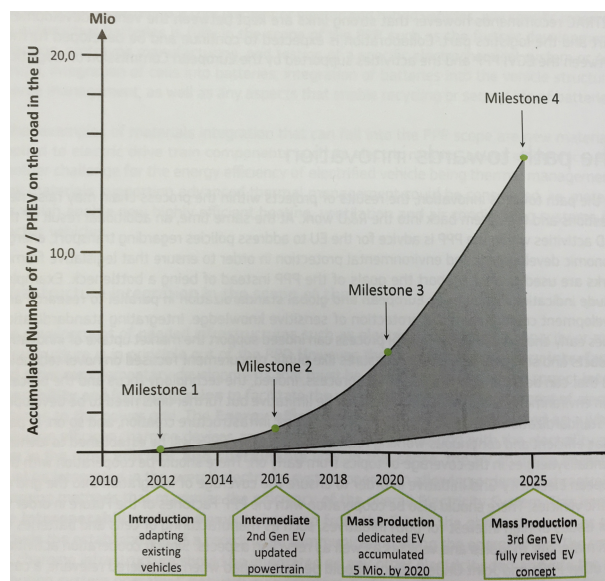
Połączenie silnika spalinowego z elektrycznym według szacowań jest jedynie przejściowym rozwiązaniem, pozwalającym spełnić ww. obecne restrykcyjne wymagania emisyjne narzucane przez Unię Europejską. Ma ono jednak swoje wady omawiane powyżej.

4. Pojazdy elektryczne

Powodem rozpoczęcia prac nad alternatywnymi źródłami napędów samochodów jest m.in. narażenie 9 na 10 obywateli Europy na szkodliwe działanie np. cząstek stałych. Ich emisja jest większa od dopuszczalnych norm [24]. Kolejnym powodem było zapewnienie możliwości transportowych społeczeństwu w chwili wyczerpania się złóż ropy naftowej. Różne scenariusze określają ten czas na ok. od 50 do 100 lat. W związku z tym wydaje się możliwe w dobie nowoczesnej techniki, wynalazków, opracowanych i opracowywanych alternatywnych układów zasilania pojazdów, zabezpieczenie się przed nadchodzącą niepewną przyszłością.

Obecnie celem wprowadzenia samochodów elektrycznych jest zmniejszenie emisji substancji szkodliwych spalin w aglomeracjach miejskich. Przykładowo bowiem w 2012 roku transport drogowy w Londynie odpowiadał za 16% emisji dwutlenku węgla, 45% emisji tlenków azotu oraz 56% emisji cząstek stałych PM10. Wprowadzenie i rozpowszechnienie pojazdów elektrycznych to w tym przypadku droga do zmniejszenia tych emisji [24].

Według „European Electrification of Road Transport” produkcja pojazdów typu PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) oraz EV (Electric Vehicle) oraz ich rozpowszechnianie będzie się zwiększać. Jest to zależne bezpośrednio od rozwoju sześciu technologicznych obszarów: systemu przechowywania energii, technologii napędów, bezpieczeństwa, przystosowania: pojazdów, dróg oraz sieci. Masowa produkcja technologii będzie wymagała jednak wzrostu wydajności energetycznej oraz redukcji kosztów, które mogą być określone do 2025 roku wraz z wprowadzeniem ulepszonych, koncepcyjnych pojazdów elektrycznych [2].



Accumulated Number of EV / PHEV on the road in the UE – Skumulowana liczba pojazdów elektrycznych / hybrydowych typu plug-in na drogach w UE

Milestone – Kamień milowy

Introduction – Wprowadzenie **adapting existing vehicles** – Adaptacja istniejących pojazdów

Intermediate – Etap pośredni

2nd Gen EV updated powertrain – 2-generacja pojazdów elektrycznych, zaktualizowany napęd

Mass Production – Masowa produkcja

Dedicated EV accumulated 5 Mio. by 2020

– Dedykowana pojazdom elektrycznym przy ich 5 milionach w 2020 roku

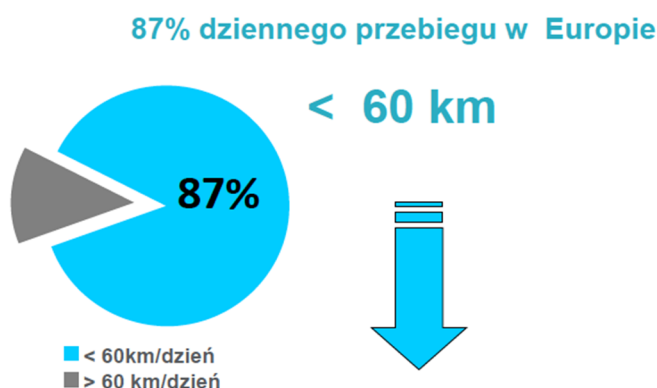
3rd Gen EV fully revised EV concept – 3-ciej generacji pojazdów elektrycznych w pełni zweryfikowanej ich koncepcji

Rys. 11. Europejskie założenia elektryfikacji transportu. Skumulowany wzrost liczby pojazdów typu PHEV oraz EV w stosunku do osiąganych etapów rozwoju [2]

Fig. 11. The European Foundation electrification of transport. The cumulative increase in the number of vehicles of the PHEV and EV in relation to their stages of development [2]

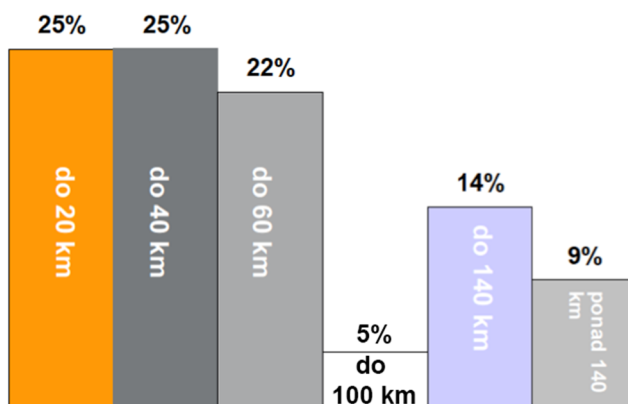
Natomiast w Białej Księdze UE zostało zapisane, że do 2030 roku powinno się zmniejszyć o połowę użycie pojazdów o napędzie konwencjonalnym i do 2050 całkowicie je wyeliminować. Komisja Europejska formułując ten zapis miała na celu przede wszystkim zmniejszenie emisji substancji szkodliwych spalin z pojazdów spalinowych, zmniejszenie uzależnienia państw członkowskich od eksportu ropy naftowej, jak też obniżenie emisji hałasu [4].

Według przeprowadzonych badań opinii publicznej 87% dziennych przebiegów pojazdów w Europie nie przekracza 60 km (rys. 12). W maju 2012 roku zostały przeprowadzone podobne badania przez TNS Polska. Sprawdzano ile kilometrów dziennie przeważnie pokonuje się pojazdem. Okazało się, że 72% dziennego przebiegu samochodu nie przekracza 60 km (rys. 12).



Rys. 12. Dienne przebiegi pojazdów w Europie [23]
 Fig. 12. Daily mileage of vehicles in Europe [23]

Dokładniejsze analizy pokazały, że 25% przebiegu samochodów jest do 20 km, kolejne 25% do 40 km, 22% do 60 km, 14% do 140 km oraz 9% pojazdów dziennie ma przebieg powyżej 140 km (rys. 13) [23].



Rys. 13. Dienne przebiegi pojazdów w Polsce [23]
 Fig. 13. Daily mileage vehicles in Poland [23]

Przeprowadzane badania wskazują, że większość mieszkańców krajów Unii Europejskiej jest w stanie zaakceptować pojazdy napędzane alternatywnymi źródłami energii, w tym o napędzie całkowicie elektrycznym. Aby doszło jednak do szerokiego wykorzystywania tego rodzaju napędu jest potrzebne pokonanie istotnych barier rynkowych tj.:

- ograniczeń technologicznych (zasięg, czas ładowania akumulatorów, niewystarczająca sieć publicznych punktów ładowania),
- ograniczeń wyboru pojazdów elektrycznych,
- wysokich kosztów zakupu,
- braku wsparcia ze strony państwa,
- braku informacji dotyczących pojazdów elektrycznych.

W kraju nie ma obecnie żadnych udogodnień dla posiadaczy lub przyszłych posiadaczy samochodów elektrycznych. W 2012 roku powstał dokument pod tytułem „Uwarunkowania wdrożenia zintegrowanego systemu e-mobilności w Polsce” [9], stworzony przez specjalistów z branży oraz zespół międzyresortowy. Zawarte są w nim zalecenia odnośnie wprowadzenia samochodów elektrycznych w kraju. Pierwsze zachęty finansowe i inne miały być sformułowane w 2013 roku, jednakże jeszcze nie ukazały się. W innych krajach członkowskich UE w omawianym względzie występują dotacje ze strony państwa. W tabeli 1 poniżej przedstawione są ulgi związane z posiadaniem pojazdu elektrycznego, na przykładzie niektórych krajów Unii Europejskiej.

Tabela 1

Zachęty finansowe i inne dla osób prywatnych i firm posiadających pojazdy elektryczne w wybranych krajach [24]

Table 1

Financial and other incentives for the private individuals and companies with electric vehicles in the selected countries [24]

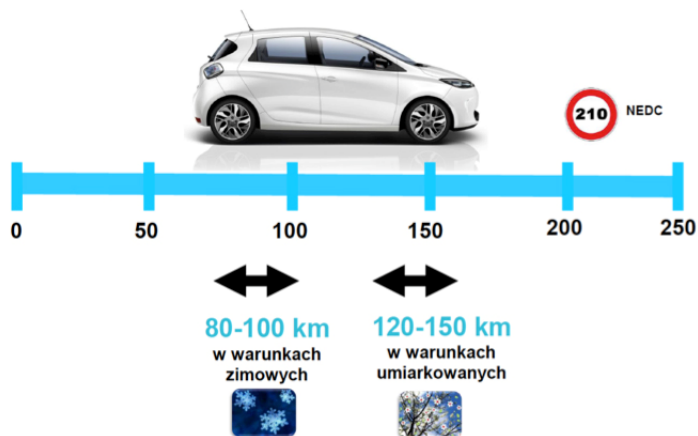
Norwegia	<ul style="list-style-type: none"> • Zwolnienie z podatku VAT (25%) w odniesieniu do pojazdów elektrycznych • Darmowe przejazdy płatnymi drogami • Brak „pierwszej opłaty rejestracyjnej” na nowe samochody • Możliwość jazdy pasami dla autobusów i taksówek • Bezpłatne parkingi na wszystkich publicznych miejscach parkingowych pozostających w gestii miasta • Darmowe przejazdy na części sieci dróg krajowych gdzie występują promy
Wielka Brytania	<ul style="list-style-type: none"> • Zużycie energii elektrycznej do ładowania pojazdów nie jest rozliczane jako jej zużycie w ramach działalności biznesowej, przy spełnieniu limitów zobowiązujących do zmniejszenia emisji dwutlenku węgla • Zwolnienie z podatku • Dotacje na zakup nowych pojazdów elektrycznych: samochodów osobowych i lekkich samochodów ciężarowych odpowiednio do 6.000 i 9.600 euro.
Portugalia	<ul style="list-style-type: none"> • Bezpłatny parking w trakcie ładowania • Zwolnione z ISV – podatku od środków transportu i z IUC – podatku obrotowego • Ulgi podatkowe dla firm kupujących pojazdy elektryczne • Koszty pojazdów elektrycznych są zwolnione z opodatkowania autonomiczną stawką, którą stosuje się do pojazdów firmowych
Szwecja	<ul style="list-style-type: none"> • Brak podatku od pojazdów przez pierwsze 5 lat • Zmniejszony podatek od samochodów służbowych • Krajowy Rejestr Punktów Ładowania identyfikujący lokalizację wszystkich punktów ładowania • Państwowa dotacja 4000 euro do każdego nowego pojazdu elektrycznego

	<ul style="list-style-type: none"> • Różne rodzaje ulg parkingowych dla pojazdów elektrycznych w kilku miastach
Niemcy	<ul style="list-style-type: none"> • Brak podatku od pojazdów mechanicznych na okres 10 lat. Po 2015 zwolnienie z podatku od pojazdów silnikowych będzie ograniczone do okresu pięciu lat. • Zmniejszony podatek od samochodów służbowych • Wzorcowe regiony elektromobilności: 8 regionów wzorcowych otrzymało dofinansowanie od rządu niemieckiego (w latach od 2009 do 2015) w wysokości 630 mln euro • Wzorcowe regiony pod kątem elektromobilności • Państwowa dotacja 4000 euro do każdego nowego pojazdu elektrycznego • Państwowa dotacja 3000 euro do każdego nowego pojazdu hybrydowego
Hiszpania	<ul style="list-style-type: none"> • Rząd przyznaje granty na zakup pojazdów elektrycznych (aż do 25% ceny, w kwocie maksymalnej 6000 euro na pojazd elektryczny) w ramach projektu MOVELE • Zwolnienie z „pierwszej opłaty rejestracyjnej” • Lokalne ulgi podatkowe oraz bezpłatne miejsca parkingowe przy ulicach w większości dużych miast hiszpańskich
Rumunia	<ul style="list-style-type: none"> • Dotacje na zakup pojazdów elektrycznych (do 20% ceny, nie więcej niż 3700 euro) • Program dopłat dla administracji publicznej i instytucji publicznych, osób prywatnych, organizacji pozarządowych oraz sektora MŚP, w którym za zezłomowany pojazd przysługuje voucher (o wartości około 3.600 euro, 4 krotność regularnej dotacji na 1 pojazd) na zakup nowych pojazdów, dopłaty mogą być stosowane do pojazdów elektrycznych.

Barierą związaną z pojazdami elektrycznymi jest czas ładowania akumulatorów. W niektórych przypadkach pełne ładowanie z sieciowego gniazdka domowego trwa do 10 godzin. Jest to zdecydowanie za dużo. Tak jak w przypadku samochodów hybrydowych gdzie też istnieje możliwość zróżnicowanego sposobu ładowania. Najbardziej optymalnym jest wykorzystanie szybkiej ładowarki CHAdeMO, która pozwala na naładowanie akumulatorów do 80% w ciągu 30 min. Pełne ładowanie trwa natomiast 45 min.

Problemem jest też dystans możliwy do przejechania pojazdem w pełni elektrycznym. Według ich producentów zasięg całkowity przy w pełni naładowanych akumulatorach wynosi obecnie do 300 kilometrów. Jest to jednak dystans w cyklu NEDC. Dystans ten skraca się mniej więcej do 200 km w rzeczywistej eksploatacji pojazdu, gdzie włączenie którejś z opcji (np. klimatyzacja bądź ogrzewanie) jest okupione zmniejszeniem zasięgu o ok. 20%. Ujemne temperatury również negatywnie wpływają na zasięg całkowity pojazdu, zmniejszając go o kolejne 10-15% (rys. 14). Po uwzględnieniu ww. czynników okazuje się, że możemy przejechać omawianym samochodem jedynie około 100 kilometrów. Takie przebiegi powodują, że eksploatacja samochodu elektrycznego może odbywać się przede wszystkim na terenie miast. Podróż poza nimi jest wręcz niemożliwa.

Aby uniknąć problemów z brakiem zasilania pojazdu, za dopłatą umożliwia się wyposażenie pojazdu elektrycznego w tak zwany exchanger. Jest to silnik spalinowy (często wykorzystuje się silnik Wankla), który pracuje przy stałych prędkościach obrotowych. Jego zadaniem jest doładowanie akumulatorów w celu zwiększenia zasięgu pojazdu. Niestety takie rozwiązanie oferowane jest tylko przez niektórych producentów pojazdów.



Rys. 14. Zasięg pojazdu elektrycznego Renault ZOE w zależności od warunków atmosferycznych [23]

Fig. 14. The range of an electric vehicle Renault ZOE depending on the weather conditions [23]

4.1. Osobowe samochody elektryczne w liczbach

W ciągu pierwszych 3 miesięcy 2016 roku w Europie zarejestrowano 154 795 aut o napędzie alternatywnym w tym 35 730 pojazdów w pełni elektrycznych. Jest to zwiększenie ich liczby o 26,8% w stosunku do tego samego okresu w 2015 roku.

Dla porównania w 2012 roku sprzedaż pojazdów EV wyniosła około 25 tysięcy sztuk. Wliczono w tę liczbę też samochody dostawcze, jak i osobowe. Najwięcej samochodów zasilanych z gniazdka sieciowego, bo aż 62%, zarejestrowanych jest we Francji, Norwegii i Niemczech. W reszcie krajów członkowskich UE sprzedaż aut elektrycznych jest marginalna albo bardzo mała.

Niedogodnością dla potencjalnych klientów samochodów elektrycznych jest cena. W Polsce np. każdy nowy samochód elektryczny kosztuje powyżej 100 tys. zł. Nie byłoby w tym nic nadzwyczajnego gdyby nie fakt, że samochody te należą do segmentu C albo i niższych. Dopiero ostatnio zaprezentowany na polskim rynku samochód osobowy Renault ZOE wyłamuje się nieco z tego schematu. Jego cena bazowa wynosi bowiem około 90 tys. zł.

W tabeli 2 przedstawiono porównanie emisji dwutlenku węgla w cyklu istnienia konwencjonalnych pojazdów (samochodów osobowych) napędzanych silnikami spalinowymi (o ZI) czy biopaliwami i osobowych samochodów elektrycznych przy różnym sposobie produkcji energii elektrycznej [10].

Rozwój produkcji energii elektrycznej w oparciu o tzw. EU-27 mix energetyczny umożliwia zmniejszenie tej emisji w przypadku tych ostatnich samochodów. Natomiast wykorzystywanie źródeł odnawialnych produkcji energii to zmniejszenie radykalnie zwiększa.

Tabela 2

Porównanie emisji CO₂ w cyklu istnienia konwencjonalnych samochodów osobowych napędzanych silnikami benzynowymi czy biopaliwami i osobowych samochodów elektrycznych przy produkcji energii w oparciu o tzw., EU-27 mix elektryczny, węgiel i wykorzystaniu źródeł odnawialnych [5].

Table 2

Comparison of CO₂ emissions in the life cycle of conventional cars powered by gasoline or biofuels and personal electric vehicles in the production of energy based on the so-called., EU-27 mix electric, coal and the use of renewable energy sources [5]

CO _{2eq} w g/km			
	Od źródła do zbiornika (akumulatory)	Od zbiornika (akumulatory) do kół	Całkowita emisja CO _{2eq}
Konwencjonalne samochody napędzane silnikami spalinowymi	23	120	143
Biopaliwa	17-28	97-135	114-163
Samochody elektryczne 27% elektrownie nuklearne 20% odnawialne źródła 53% paliwa kopalne (EU-27 mix 2010)	67-84	0	67-84
Samochody elektryczne (węgiel)	126-155	0	126-155
Samochody elektryczne 50% energia wiatrowa 50% ogniwa fotowoltaiczne (źródła odnawialne)	0-4	0	0-4

5. Pojazdy z ogniwami paliwowymi

Największym problemem odnoszącym się do samochodów elektrycznych jest ich zasięg (przy użyciu w pełni naładowanych ich akumulatorów). Niektórzy producenci takich samochodów dla zmiany takiego stanu rzeczy stosują tak zwany range exchangery czyli małe silniki spalinowe których zadaniem jest napęd prądnicy doładowującej akumulatory. Mimo to zasięg tego typu samochodów cały czas nie może równać się do zasięgu współczesnego samochodu napędzanego silnikiem z zapłonem samoczynnym, którym często bez problemu można pokonać nawet ponad tysiąc kilometrów. W związku z tym problem eksploatacji pojazdów na długich dystansach nie jest rozwiązany. Pojazdy elektryczne są dobrą alternatywą do wykorzystywania w miastach. Jedną ze ścieżek, które mogą być rozwiązaniem tego problemu jest wykorzystanie wodoru do zasilania pojazdów samochodowych.

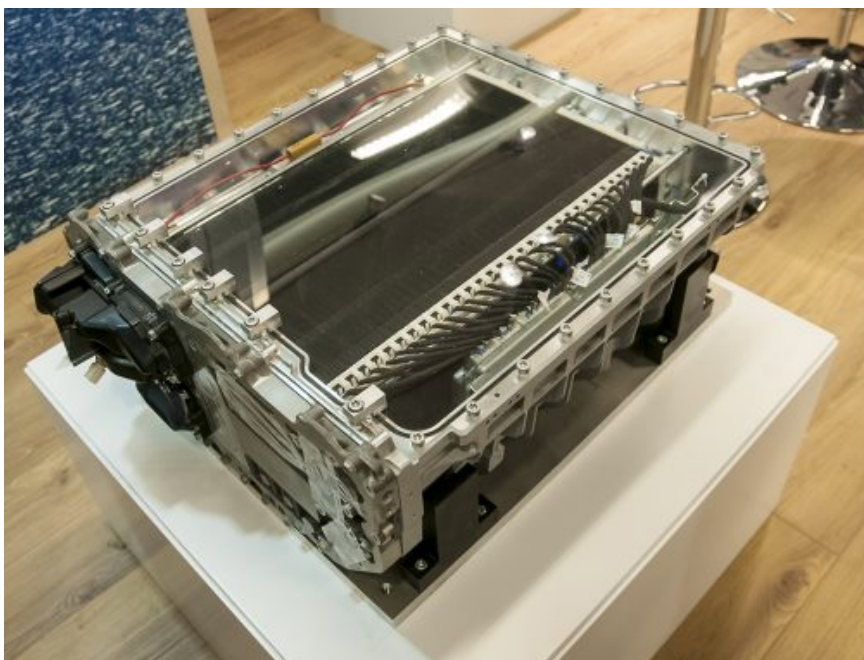
Nie jest to nowa technologia. Badania nad zastosowaniem tego źródła energii trwają od wielu lat i prowadzone są przede wszystkim przez takich producentów samochodów jak: Mercedes-Benz, BMW, Volkswagen, General Motors, Toyota, Kia czy Hyundai. Większość z wymienionych firm stworzyła już nie jeden prototyp (np. Mercedes-Benz zbudował 90 samochodów opartych na modelu B zasilanych ogniwami paliwowymi) [12].

Intensywne prace nad wykorzystaniem wodoru w transporcie samochodowym podjęto jeszcze w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Wodór może być wykorzystany do napędzania pojazdów samochodowych na dwa sposoby, albo jako paliwo w tradycyjnym

silniku, które ulega spalaniu w komorze silnika, albo w ogniwach paliwowych do wytworzenia energii napędzającej silnik elektryczny. Ze względu na szereg zalet (lekkość, łatwość, szybkość napełniania zbiorników) i brak istotnych wad towarzyszących technologii bezpośredniego spalania wodoru w komorze silnika (przedwczesny zapłon, energochłonność przechowywania wodoru w stanie ciekłym itp.), rozwijana jest szczególnie technologia wykorzystująca wodór do wytwarzania energii przez ogniwa paliwowe [14].

Ogniwo paliwowe jest przetwornikiem elektrochemicznym bezpośrednio zamieniającym energię chemiczną zawartą w wodorze na energię elektryczną. Z tego powodu charakteryzuje się większą sprawnością niż wszystkie inne procesy wytwarzania prądu elektrycznego [6].

Wodór jak nośnik energii reaguje z tlenem zawartym w powietrzu w niskotemperaturowym procesie spalania, któremu towarzyszy wytwarzanie prądu elektrycznego. Ogniwa paliwowe działają bez części ruchomych, bez tarcia mechanicznego, bezgłośnie oraz nie emitują toksycznych składników podczas pracy [6]. Poniższy rys. 15 przedstawia przykład ogniwa paliwowego wykorzystywanego w seryjnie produkowanym samochodzie zasilanym wodorem.

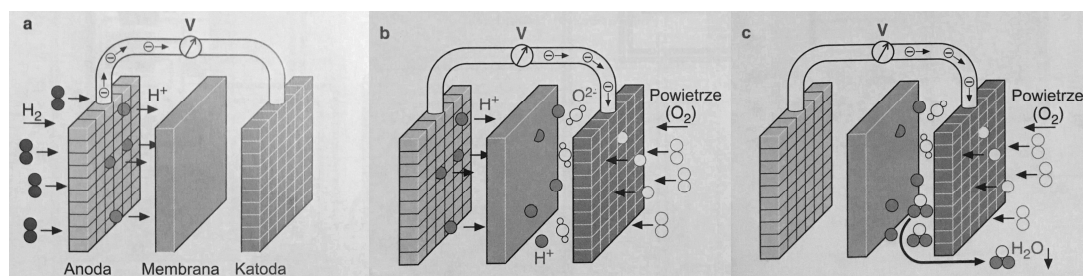


Rys. 15. Ogniwo paliwowe wytwarzane przez firmę Toyota, wykorzystywane w pojeździe Toyota Mirai oraz BMW serii 5GT Hydrogen Fuel Cell (fot. Maciej Gis)

Fig. 15. The fuel cell manufactured by Toyota, used in a vehicle Toyota Mirai and BMW 5GT Hydrogen Fuel Cell (fot. Maciej Gis)

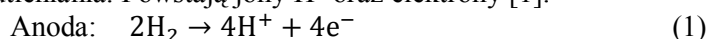
Ogniwo paliwowe składa się z dwóch elektrod – anody i katody oddzielonych elektrolitem przepuszczalnym dla jonów. Elektrody są ze sobą połączone przez obwód zewnętrzny. Na anodzie następuje utlenianie paliwa, a na katodzie zachodzi redukcja tlenu. W zależności od ogniwa paliwowego możliwy jest wybór różnego paliwa. Można na przykład wykorzystywać wodór, mieszanki gazowe zawierające wodór, alkohole lub węglowodory.

Do zastosowań motoryzacyjnych stosuje się przeważnie ogniwa paliwowe polimerowo-elektrolityczno-membranowe (PEM, ang. *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*, PEM-FC) (rys. 16) [6].

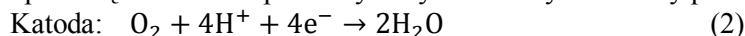


Rys. 16. Zasada działania ogniwa paliwowego PEM [6]
 Fig. 16. The principle of the fuel cell PEM [6]

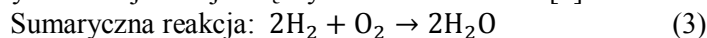
W ogniwach paliwowych wodór doprowadzany jest do anody, na której dochodzi do utleniania. Powstają jony H^+ oraz elektrony [1].



Elektrolit tworzy polimerowa membrana przepuszczalna dla protonów a nieprzepuszczalna dla elektronów. Jony H^+ (protony), tworzone na anodzie, przenikają przez membranę i osiągają katodę. Do katody jest doprowadzany tlen, który ulega redukcji za pomocą elektronów przekazywanych z anody do katody przez obwód zewnętrzny [1].



Zachodząca sumaryczna reakcja powoduje zamianę wodoru oraz tlenu na wodę. Dzięki rozdzielaniu przestrzennie etapów reakcji pomiędzy anodę i katodę nie dochodzi do wybuchowej reakcji między wodorem i tlenem [1].



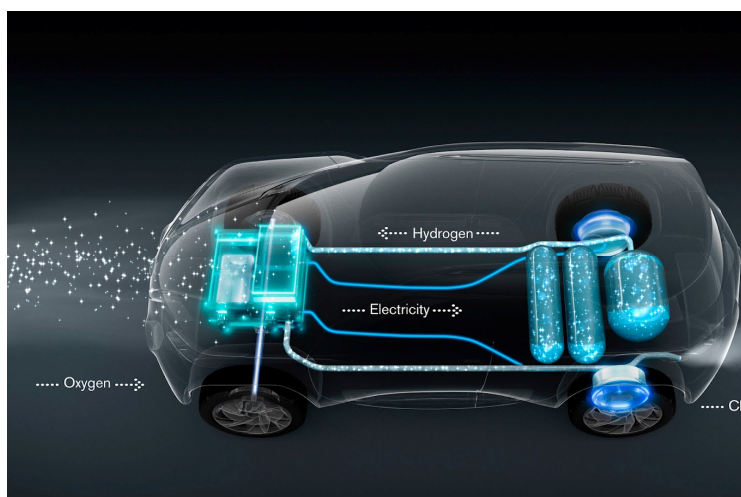
Prostszym zobrazowaniem zasady działania jest: porównanie do odwróconej zasady elektrolizy wody. Podczas elektrolizy po doprowadzeniu energii elektrycznej dokonuje się rozkład cząsteczki wody na wodór (H_2) i tlen (O_2). W ogniwie paliwowym natomiast dochodzi do reakcji H_2 i O_2 i powstania wody (H_2O), przy jednoczesnym uwolnieniu energii elektrycznej i ciepłej. Ogniwo potrzebuje zatem do reakcji elektrochemicznej wodoru i tlenu jako „paliwa” [5]. Membrana polimerowo-elektrolityczna przepuszcza jedynie protony, a elektrony są oddzielane i gromadzone dla napędu jednostki napędowej. Powstająca energia magazynowana jest w bateriach litowo-polimerowych [12].

Rzeczywiste napięcie pojedynczego ogniwa paliwowego wynosi około 0,5-1 V (teoretyczne założenia mówią o 1,25 V). Straty napięcia wynikają np. z hamowania reakcji lub zakłócającej dyfuzji gazowej. Napięcie jest zależne od temperatury, stechiometrii reakcji, ciśnienia i natężenia prądu w danym punkcie pracy [6].

Aby wykorzystać ogniwo paliwowe w pojazdach zestawia się je w stosy o zakresie mocy od 60 do 100 kW. Tego typu stos zawiera mniej więcej 300-450 ogniw. Umożliwia to uzyskanie napięcia wynoszącego 300-450 V oraz gęstość energii o wartości 1500-2000 W/dm³ objętości stosu ogniw [6].

Jedną z firm, która oficjalnie ma w ofercie sprzedażowej auto wyposażone w ogniwa paliwowe jest Hyundai, inną Toyota. Ogólną koncepcją samochodu osobowego wykorzystującego ogniwo paliwowe przedstawiono na rys.17. W lutym 2013 roku w Ulsan ruszyła seryjna produkcja wyjątkowej wersji modelu Hyundai'a ix35 o nazwie ix35 Fuel Cell. Badania nad tym źródłem energii trwały od ponad 15 lat. W tym czasie firma zbudowała 200 prototypów od aut miejskich po autobusy [12].

Wspomniany model samochodu jest trzecią generacją auta FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle) typu SUV. Prace nad nim rozpoczęły się w 2000 roku, wraz z wprowadzeniem do testów Hyundai'a SantaFe. Wtedy też pojawiły się pierwsze problemy. Przede wszystkim wymiary ogniw paliwowych był za duże, a po drugie zużycie paliwa podczas jazd było także za duże. Po wielu pracach nad rozwiązaniem omawianego problemu udało się osiągnąć sukces. W modelu ix35 Fuel Cell zastosowano dwa zbiorniki wodoru o łącznej objętości 144 dm³. Mieszczą one 5,64 kg sprężonego pod ciśnieniem 70 MPa (700 barów) gazu. Jest to okupione podniesieniem nieco podłogi w bagażniku samochodu [12].



Oxygen – Tlen
Hydrogen – Wodór
Electricity – Energia elektryczna
Clean water vapor – Czysta para wodna

Rys. 17. Samochód osobowy wykorzystujący ogniwo paliwowe [20]

Fig. 17. Passenger car uses fuel cells [20]

Ogniwo wodorowe umożliwia napęd omawianego samochodu przy użyciu 136-konnego silnika elektrycznego. Taka moc silnika umożliwia rozpędzenie samochodu do 100 km/h w 12,5 s i osiągnięcie maksymalnej prędkości 160 km/h. Są to ważne parametry, ale do najistotniejszych należy zasięg samochodu. Hyundai ix35 Fuel Cell jest w stanie przejechać ok. 600 km, zużywając przy tym średnio ok. 1 kg wodoru na 100 km (w zależności od warunków drogowych). Zasięg maksymalny zapewne mógłby zostać zwiększony, choćby przez zmniejszenie masy własnej pojazdu, ale obecnie jest to jeszcze dyskutowane. Hyundai z ogniwami wodorowymi ma masę większą od wersji samochodu z konwencjonalną jednostką napędową o 200-500 kg (masa własna ix35 Fuel Cell wynosi 1830 kg). Rozrzut różnicy mas wynika z różnorodności wersji silnikowych i wyposażeniowych [1].

Wodór jest gazem wybuchowym. W związku z tym nasuwało się pytanie, do jakiego stopnia taki samochód jest bezpieczny? Aby rozwiązać wątpliwości przeprowadzono stosowne badania. Testy najazdowe w tył samochodu z prędkością 84 km/h wykazały, że przy tak dużej prędkości zderzenia tylnego, zbiorniki wodoru nie rozszczelniły się [1].



Rys. 18. Przekrój samochodu Hyundai ix35 Fuel Cell [28]
Fig. 18. Hyundai ix35 Fuel Cell section [28]

Samochód Hyundai ix35 Fuel Cell stanowi jedynie przykład możliwości jakie stwarzają ogniwa wodorowe. Do zalet tego rozwiązania można zaliczyć [14]:

- potencjalne korzyści dla środowiska w postaci braku emisji substancji zanieczyszczających oraz zmniejszenie emisji hałasu,
- zmniejszenie importu paliw kopalnych,
- zwiększenie potencjału eksportu i usług oraz nowe miejsca pracy.

Istnieją jednak pewne niedogodności stosowania tej technologii m. in. np. [27]:

- trudna zmiana paradygmatu paliwa kopalne na paradygmat paliwa odnawialne (wodór),
- inwestycje związane z budową sieci stacji tankowania wodoru,
- ograniczone w większości krajów świata wsparcie polityczne technologii wodorowej wobec zakładanego pierwszoplanowego rozwoju metanizacji transportu samochodowego i koncentracji na pojazdach EV (ang. *Electric Vehicle*), brak zaktualizowanej wiedzy na temat nowoczesnej technologii wodorowej.

Seryjnie produkowanym samochodem wodorowym jest też Toyota Mirai (rys. 19).



Rys. 19. Samochód Toyota Mirai wyposażona w ogniwa wodorowe [3]
Fig. 19. Toyota Mirai car equipped with hydrogen cells [3]

6. Akumulatory pojazdów

Zarówno w samochodach hybrydowych, elektrycznych oraz wodorowych stosuje się przeważnie akumulatory niklowo-wodorkowe oraz litowo-jonowe. Ze względu na negatywny wpływ kadmu na środowisko nie stosuje się akumulatorów niklowo-kadmowych.

Akumulatory niklowo-wodorkowe (NiMH): są wykorzystywane przeważnie do pojazdów o napędzie hybrydowym. Zastosowane materiały konstrukcyjne zapewniają dużą gęstość zmagazynowanej energii. Elektrolit alkaliczny nie bierze udziału w reakcji na elektrodach. Praca na częściowo naładowanych akumulatorach nie wpływa negatywnie na trwałość ogniwa. W szerokim zakresie stanu naładowania osiągana jest też duża sprawność ładowania i rozładowania akumulatora [6].

Akumulatory niklowo-wodorkowe pracują przy niewielkim nadciśnieniu wodoru. Z tego właśnie powodu wyposażone są w zawory ciśnieniowe lub płytkę bezpieczeństwa, aby w przypadku zbyt dużego wzrostu ciśnienia możliwy był upust wodoru. Podczas eksploatacji konieczne jest zapewnienie odpowiedniej wentylacji oraz trzeba pamiętać aby nie występowało zbyt duże ich przeładowanie [6].

Do wad tego typu akumulatorów można zaliczyć:

- dużą skłonność do samorozładowania,
- duże zmniejszenie mocy w niskiej temperaturze,
- niekorzystne małe napięcie spoczynkowe akumulatorów NiMH.

Akumulatory litowo-jonowe (li-ion): Są to akumulatory, które w porównaniu z akumulatorami NiMH umożliwiają uzyskanie większej gęstości energii i mocy przy napięciu ogniwa wynoszącym 3,6 V. Z tego powodu stosuje się je w urządzeniach elektrycznych [6].

Trwają dalsze prace rozwojowe nad akumulatorami litowo-jonowymi w zastosowaniu do pojazdów o napędzie hybrydowym, zwłaszcza w zakresie niedrogich i niezawodnych materiałów elektrod (np. LiMn_2O_4 czy LiFePO_4) [6].

Stosowanie tego typu akumulatorów wymaga spełnienia szeregu warunków. Jest to spowodowane dużą energią wewnętrzną materiału elektrod oraz wysokim napięciem ogniwa [6].

Warunki:

- zastosowanie elektrolitu organicznego, zawierającego sole przewodzące,
- zapewnienie bezpieczeństwa konstrukcji,
- zapewnienie nadzoru pojedynczych ogniw w celu uniknięcia przeładowania lub przegrzania.

Specjalnym rodzajem akumulatorów litowo-jonowych są **akumulatory litowo-polimerowe**. Nie zawierają one elektrolitu w postaci ciekłej. Nadają się do produkcji elastycznych ogniw podatnych na zginanie. Obecnie prowadzi się badania nad zastosowaniem akumulatorów litowo-polimerowych w pojazdach hybrydowych [6].

7. Podsumowanie

Przyszłość motoryzacji cały czas wymaga dookreślenia. Nie do końca wiadomo, który kierunek rozwoju będzie tym właściwym. Prowadzone prace mają charakter wielokierunkowy. Wymagania narzucane na producentów sprawiają, że ze spalinowych jednostek napędowych uzyskuje się praktycznie maksimum możliwości jeżeli chodzi o zmniejszanie emisji substancji szkodliwych spalin. Wprowadzenie samochodów

elektrycznych jest pewnym rozwiązaniem. Niestety ich popularyzacja nie zależy jedynie od producentów pojazdów, ale też od władz państwowych. Bez odpowiedniego dofinansowania, przeprowadzenia na szeroką skalę kampanii reklamowych oraz zdecydowanego zwiększenia liczby punktów ładowania, samochód elektryczny będzie raczej przejściowym boorem niż docelowym, powszechnym, złotym środkiem transportowym.

Przyszłość mogą stanowić pojazdy na ogniwa wodorowe. Największą zaletą tego typu źródła energii jest możliwość zapewnienia samochodom relatywnie dużego zasięgu. Przedstawiony w artykule zalety pojazdu Hyundai'a czy zalety Toyoty Mirai są na tyle istotne, że pojazd ten już teraz mógłby zastąpić niejednego samochód wyposażony w klasyczny silnik spalinowy. Niestety brak jeszcze możliwości tankowania wodoru w niektórych krajach unijnych w tym Polsce, stanowi na razie przeszkodę trudną do pokonania. Bez zintensyfikowanego zaangażowania wszystkich firm motoryzacyjnych i wyeliminowaniu braku wprowadzenia do seryjnej produkcji tego typu pojazdów starania koreańskiego i japońskiego koncernu będą jedynie ambitną próbą, a nie powszechnością. Samochody hybrydowe to chyba obecnie najlepsze rozwiązanie zarówno oddziałujące na ograniczenie zużycia ropy naftowej, jak też zmniejszenie emisji substancji szkodliwych z pojazdów samochodowych. Wykorzystanie silnika elektrycznego i spalinowego oprócz środowiskowych korzyści, pozwala na poprawienie osiągnięć samochodów.

LITERATURA:

- [1] Biała Księga. Plan utworzenia jednolitego europejskiego obszaru transport – dążenie do osiągnięcia konkurencyjnego i zasobooszczędnego systemu transportu. KOM (2011) 144 wersja ostateczna.
- [2] European Green Vehicles Initiative. Multiannual roadmap for the contractual PPP under Horizon 2020. Publications Office of the European Union, 2014.
- [3] Toyota Polska – materiały prasowe ogólnodostępne
- [4] Biała księga KOM(2011)144, marzec 2011.
- [5] Biogaz. Produkcja. Wykorzystanie. Institut für Energetik und Umwelt gGmbH, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (Institut für Technologie und Biosystemtechnik), Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.)
- [6] Bosch R.: Napędy hybrydowe, ogniwa paliwowe i paliwa alternatywne. WKiŁ, Warszawa, 2010.
- [7] ERTRAC Road Transport Scenario 2030+. Wersja 2009 r.
- [8] ERTRAC Strategic Research Agenda 2010. Executive Summary.
- [9] ERTRAC: „Future Light and Heavy Duty ICE Powertrain Technologies”. ERTRAC Working Group Energy and Environment. 05.04.2016
- [10] European Roadmap Electrification of Road Transport. 2nd Edition, June 2012
- [11] Gis M. Artykuł dotyczący elektrycznego Nissana Leaf'a. Opublikowany na portalu autokult.pl. 21 sierpień 2013.
- [12] Gis M. Artykuł dotyczący wizji rozwoju samochodów formy Hyundai pod kątem ochrony środowiska. Opublikowany na portalu blog.pgd.pl. 15 listopad 2013.
- [13] Gis M.: „Emisja substancji szkodliwych przy zasilaniu silnika biometanem”. Praca magisterska. Politechnika Warszawska, 2016.
- [14] Gis W., Menes E., Waśkiewicz J.: „Uwarunkowania wodoryzacji transportu samochodowego w Polsce”. Instytut Transportu Samochodowego. Warszawa, 2016.
- [15] Gonca G., Sahin B.: The influences of the engine design and operating parameters on the performance of a turbocharged and steam injected diesel engine running with the Miller cycle. Applied Mathematical Modelling 40 (2016) 3764–3782.

Elektryfikacja transportu samochodowego

- [16] Hejny B., „Downsizing” – ekologiczny trend w konstrukcjach nowoczesnych silników spalinowych. Praca dyplomowa inżynierska, promotor Dariusz Pietras, ATH Bielsko-Biała 2013.
- [17] Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Plan działania w zakresie energii do 2050 roku. KOM (2011).
- [18] Lexus Polska – materiały prasowe ogólnodostępne
- [19] Ministerstwo Gospodarki Departament Innowacji i Przemysłu: Uwarunkowania wdrożenia zintegrowanego systemu e-mobilności w Polsce. Warszawa, czerwiec 2012.
- [20] Mitsubishi Europe – materiały prasowe ogólnodostępne
- [21] Opel Polska – materiały prasowe ogólnodostępne
- [22] Pietra D.: Teoretyczne aspekty koncepcji „downsizingu” silników spalinowych. Logistyka 3/2014. Str. 5098-5105.
- [23] Prezentacja dotyczące samochodu Renault ZOE. Warszawa, kwiecień 2014.
- [24] Rodriguez O.: EVUE – Modele Biznesowe. Lizbona, październik 2012.
- [25] Sunnerstedt E., Backamn H.: EVUE – wspólne zamówienia pojazdów elektrycznych. Sztokholm, październik 2012.
- [26] Wajand J.A.: Problemy rozwoju tłokowych silników spalinowych. Journal of KONES. Internal Combustion Engines Vol. 7, No 1-2, 2000.
- [27] Wallmark C., Schaap G., Mohseni F.(2015).Infrastruktura wodorowa dla transportu. Fakty i plan koncepcyjny dla Szwecji. SWECO.
- [28] www.reviewhyundai.com dostępny 15.04.2016r.
- [29] www.wikipedia.pl dostępny 01.05.2016r.