

# Pojazdy elektryczne i hybrydowe

## Akronimy

EVs – electric vehicles

PEV – pure electric vehicle; BEV – battery electric vehicle

FEV – fuel-cell electric vehicle

HEV – hybrid electric vehicle

konwencjonalne HEV:

micro HEV, mild HEV, full HEV

ładowane z sieci HEV:

PHEV – plug-in hybrid electric vehicle

REV – range-extended electric vehicle

---

ICEVs - Internal combustion engine vehicles

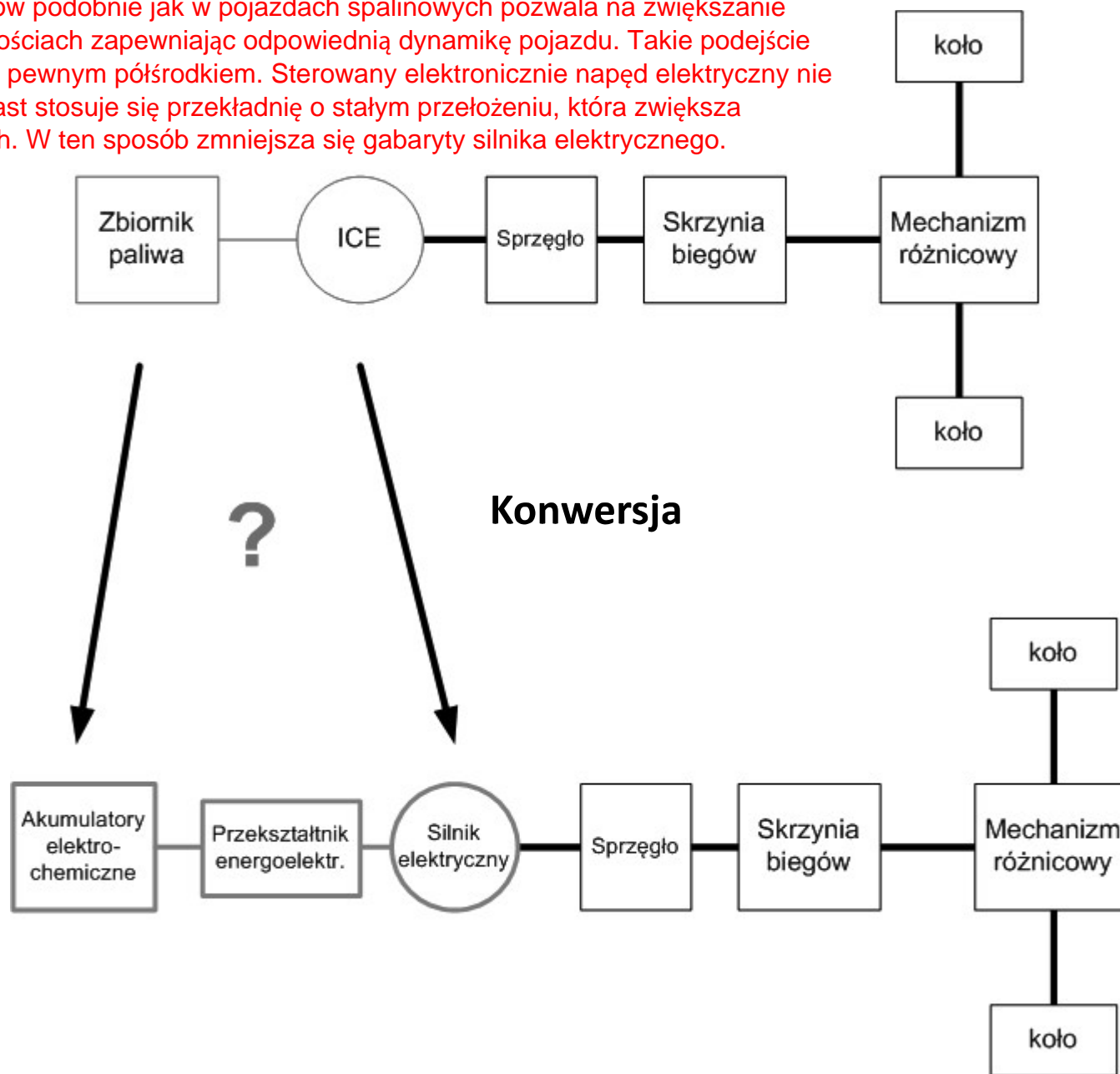
## ICEV – układ napędowy

Schemat układu napędowego pojazdu z silnikiem spalinowym. Skrzynia biegów podnosi moment podawany na koła przy niskich prędkościach pojazdu oraz służy dopasowaniu prędkości obrotowej silnika do prędkości pojazdu. To pozwala na uzyskiwanie dużych przyspieszeń i zachowanie dobrej dynamiki pojazdu przy włączaniu się do ruchu oraz w miarę rozsądne dopasowanie zużycia paliwa do warunków obciążenia (silnik nie jest dławiony przy niskich prędkościach pojazdu, oraz nie pracuje niepotrzebnie na wysokich obrotach gdzie sprawność jest niska przy dużych prędkościach pojazdu. Mechanizm różnicowy mechaniczny różnicuje prędkość kół na zakrętach, zapobiegając ścieraniu opon oraz utracie stabilności pojazdu.



————— Mechaniczne przeniesienie momentu napędowego

Konwersja pojazdu spalinowego do elektrycznego polega na wymianie źródła energii mechanicznej. Bardzo często przy konwersji pozostawia się pozostałe komponenty układu napędowego. Skrzynia biegów podobnie jak w pojazdach spalinowych pozwala na zwiększanie momentu przy niskich prędkościach zapewniając odpowiednią dynamikę pojazdu. Takie podejście (konwersja) jest jednak tylko pewnym półśrodkiem. Sterowany elektronicznie napęd elektryczny nie potrzebuje sprzęgła, natomiast stosuje się przekładnię o stałym przełożeniu, która zwiększa moment napędowy na kołach. W ten sposób zmniejsza się gabaryty silnika elektrycznego.



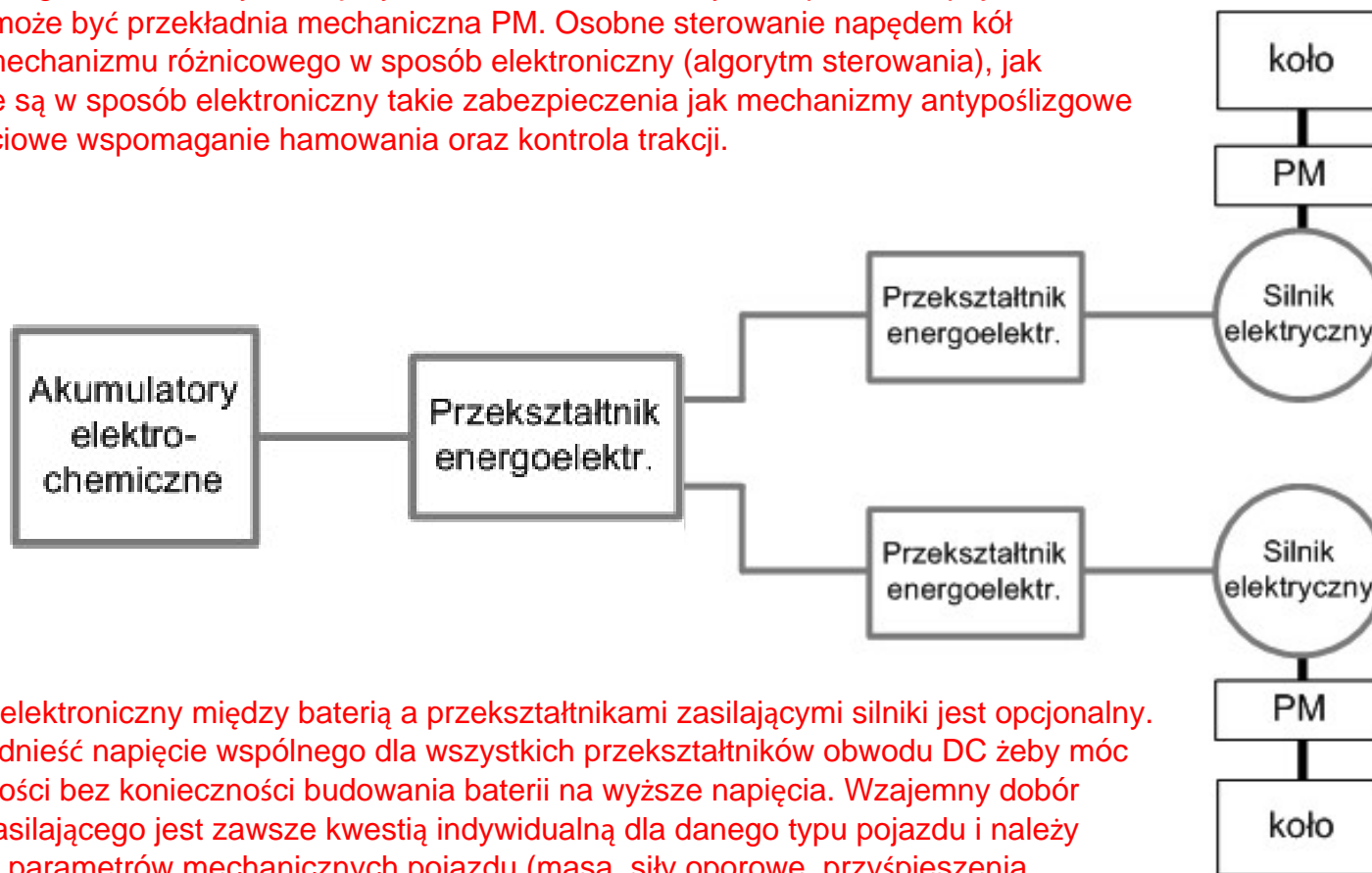
## Elektryczny układ napędowy – silnik centralny

Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest układ napędowy z pojedynczym (centralnym) silnikiem elektrycznym. Przekształtnik energoelektroniczny zasila i steruje momentem silnika elektrycznego. Bateria jest źródłem napięcia stałego, natomiast stosowane silniki elektryczne odbiornikami zasilanymi napięciem przemiennym. W chwili obecnej nie stosuje się w pojazdach silników prądu stałego, zatem stosowanie przekształtnika energoelektronicznego jest koniecznością. Przekładnia mechaniczna ma większą gęstość mocy/momentu niż silnik elektryczny, dlatego zestaw silnik+przekładnia będzie miał mniejsze gabaryty i ciężar niż sam silnik elektryczny projektowany na niższą prędkość i wyższy moment. Mechanizm różnicowy w tej wersji napędu jest realizowany jako rozwiązanie mechaniczne.



## Elektryczny układ napędowy – napęd bezpośredni

Stosowane są również rozwiązania, w których dwa lub cztery koła pojazdu elektrycznego napędzane są niezależnie przez osobne silniki elektryczne. Każdy z tych silników sterowany jest osobnym przekształtnikiem energoelektronicznym. Między silnikiem zamontowanym na podwoziu pojazdu a kołem montowana może być przekładnia mechaniczna PM. Osobne sterowanie napędem kół wymaga realizacji mechanizmu różnicowego w sposób elektroniczny (algorytm sterowania), jak również realizowane są w sposób elektroniczny takie zabezpieczenia jak mechanizmy antypoślizgowe przy ruszaniu, częściowe wspomaganie hamowania oraz kontrola trakcji.



Przekształtnik energoelektroniczny między baterią a przekształtnikami zasilającymi silniki jest opcjonalny. Stosuje się go aby podnieść napięcie wspólnego dla wszystkich przekształtników obwodu DC żeby móc osiągać wyższe prędkości bez konieczności budowania baterii na wyższe napięcia. Wzajemny dobór parametrów układu zasilającego jest zawsze kwestią indywidualną dla danego typu pojazdu i należy wychodzić zawsze od parametrów mechanicznych pojazdu (masa, siły oporowe, przyspieszenia, maksymalna prędkość pojazdu, średnica kół i wynikające stąd momenty napędowe).

## Elektryczny układ napędowy – napęd bezpośredni

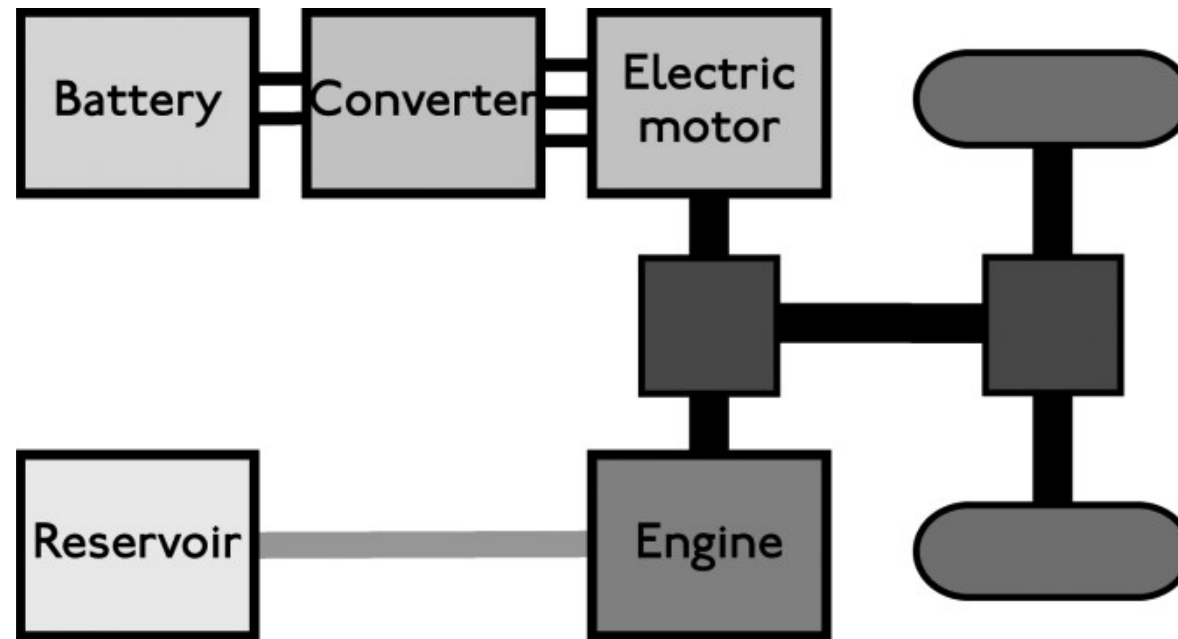
Rozwiązanie polegające na integracji silnika elektrycznego z kołem pojazdu nie znalazło szerszego zastosowania. Po pierwsze ze względu na brak przekładni mechanicznej, co powiększa ciężar silnika elektrycznego, a po drugie ze względu na powiększenie masy nieresorowanej zwiększającej wymagania w stosunku do elementów zawieszenia pojazdu.



### Silnik elektryczny wbudowany w koło pojazdu

Pewne problemy sprawiają również takie rzeczy jak sezonowa wymiana kół/opon oraz zapewnienie szczelności między statorem a wirnikiem ( stosowane maszyny z magnesami trwałymi muszą być zabezpieczone przed dostawaniem się w szelinę między stojanem a wirnikiem nie tylko wilgoci, ale również pyłów (drobinek) magnetycznych, które mogą się do magnesów przyklejać.

## Hybrydowy układ napędowy – topologia równoległa



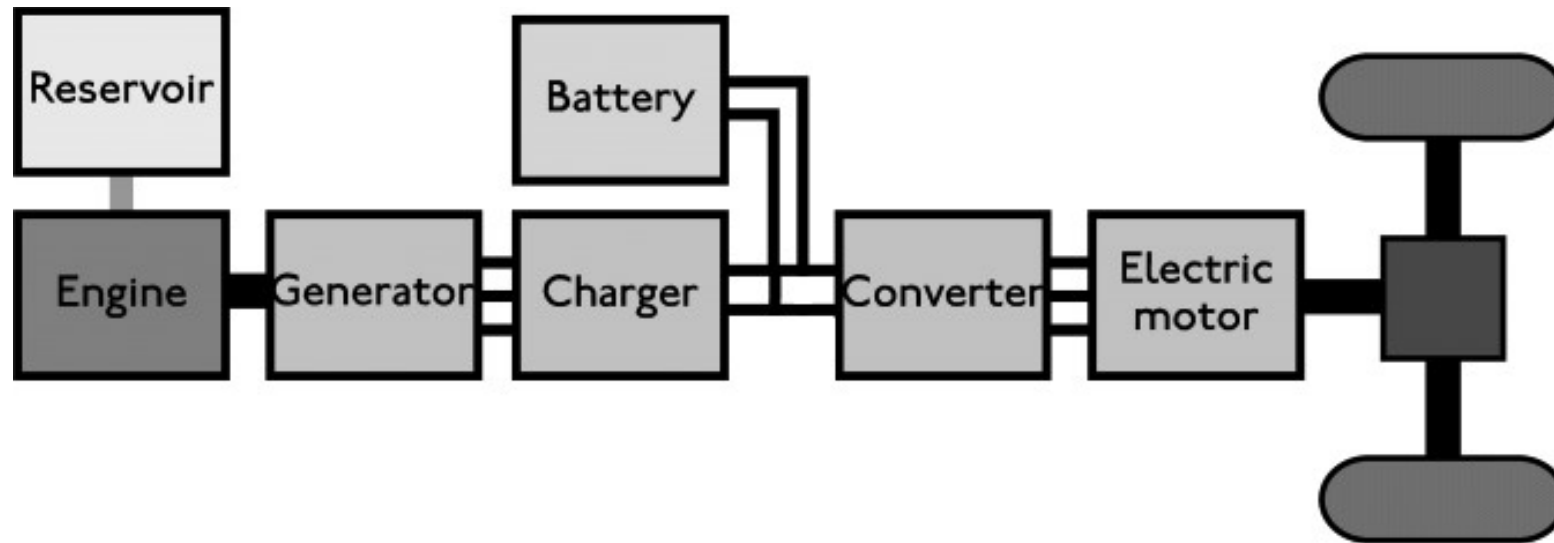
### Zalety układu równoległego

1. Jednostopniowe przetwarzanie energii
2. Moc silnika elektrycznego może być mniejsza od wymaganej mocy na kołach pojazdu

### Wady układu równoległego

1. ICE sprzężony z kołami napędowymi – potrzeba przekładni mechanicznych (skrzyni biegów)
2. Sprzęg mechaniczny

## Hybrydowy układ napędowy – topologia szeregowa



### Zalety układu szeregowego

1. ICE całkowicie odsprężony z kołami napędowymi
2. Brak skrzyni biegów
3. Możliwość bezpośredniego napędu kół

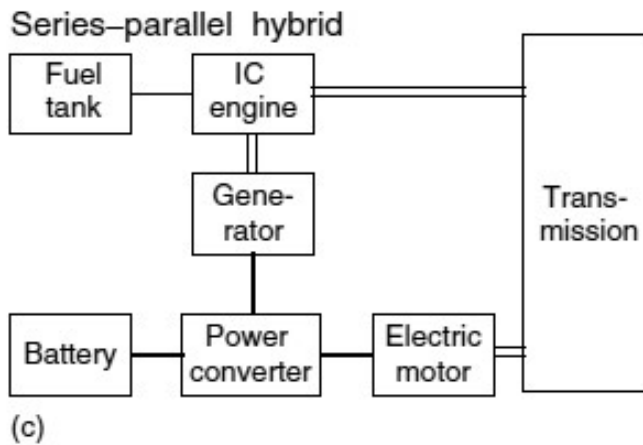
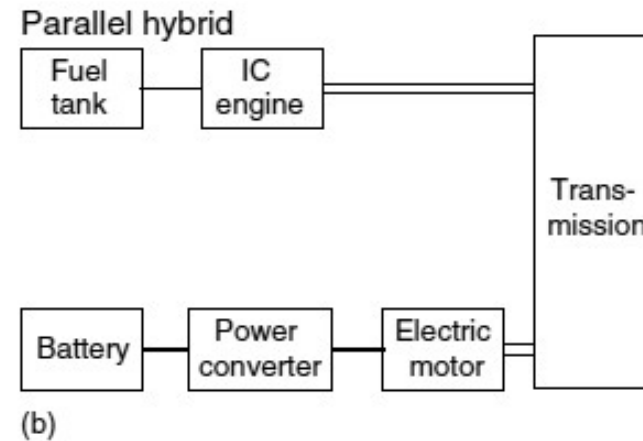
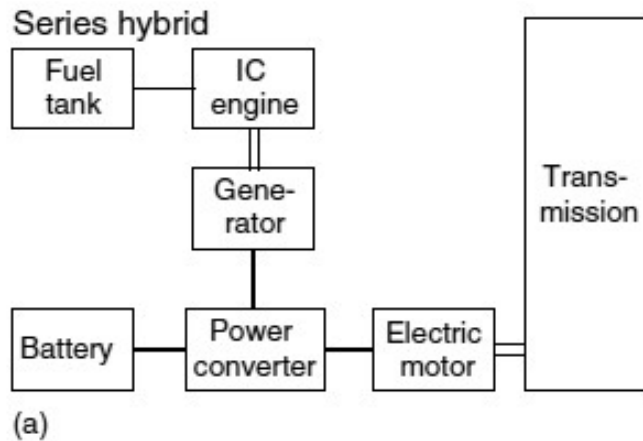
Możliwa przekładnia  
o stałym przełożeniu  
między silnikiem a kołami

### Wady układu szeregowego

1. Energia z ICE przetwarzana dwukrotnie (mech.->elekt.->mech.)
2. Dodatkowa maszyna (Generator)
3. Silnik elektryczny dostarcza pełną moc



# Klasyfikacja hybrydowych układów napędowych

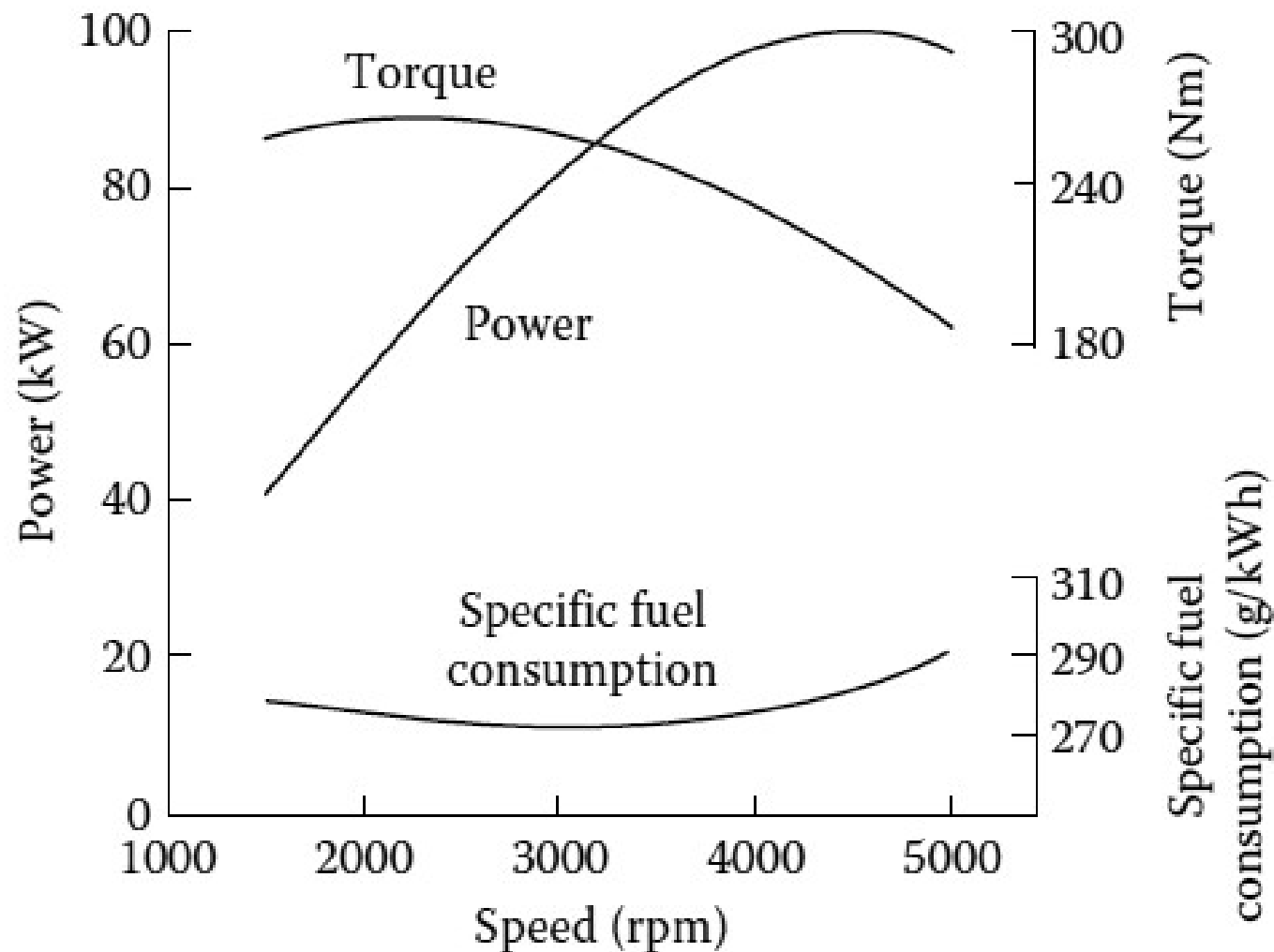


————— Eletrical link  
 ————— Hydraulic link  
 ===== Mechanical link

Hybryda szeregową daje najszersze możliwości regulacyjne ze względu na całkowite odciążenie silnika spalinowego i kół pojazdu. To oznacza, że prędkość silnika spalinowego może być dostosowana do jego charakterystyk, a nie jest narzucona prędkością pojazdu.

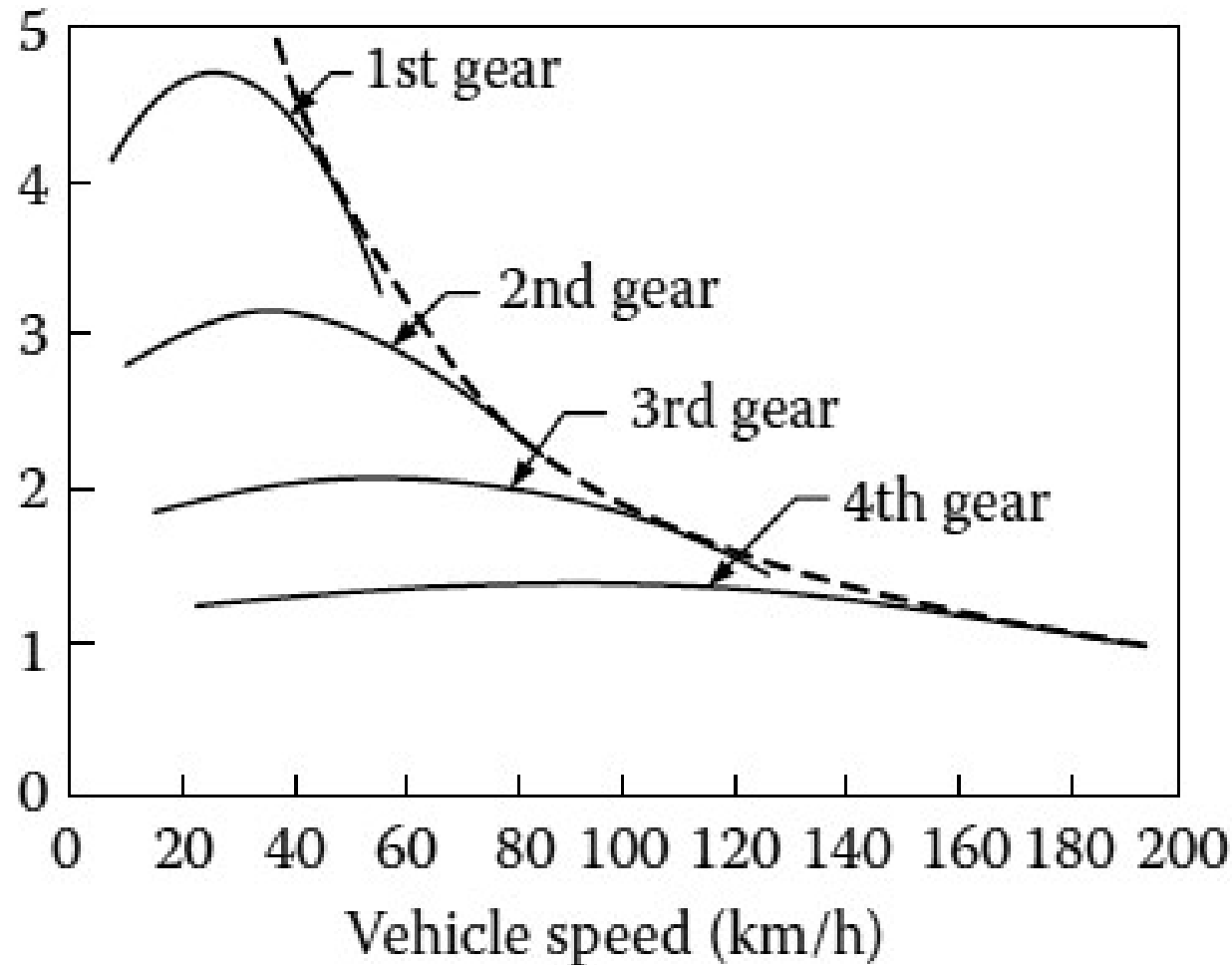
To jednak wymaga zastosowania silnika elektrycznego i przekształtnika energoelektronicznego o mocy równej mocy wymaganej do napędu kół, oraz dodatkowej maszyny pełniącej funkcję generatora osadzonego na wale silnika spalinowego. Konwersja energii z silnika spalinowego odbywa się całkowicie drogą elektryczną.

## ICE



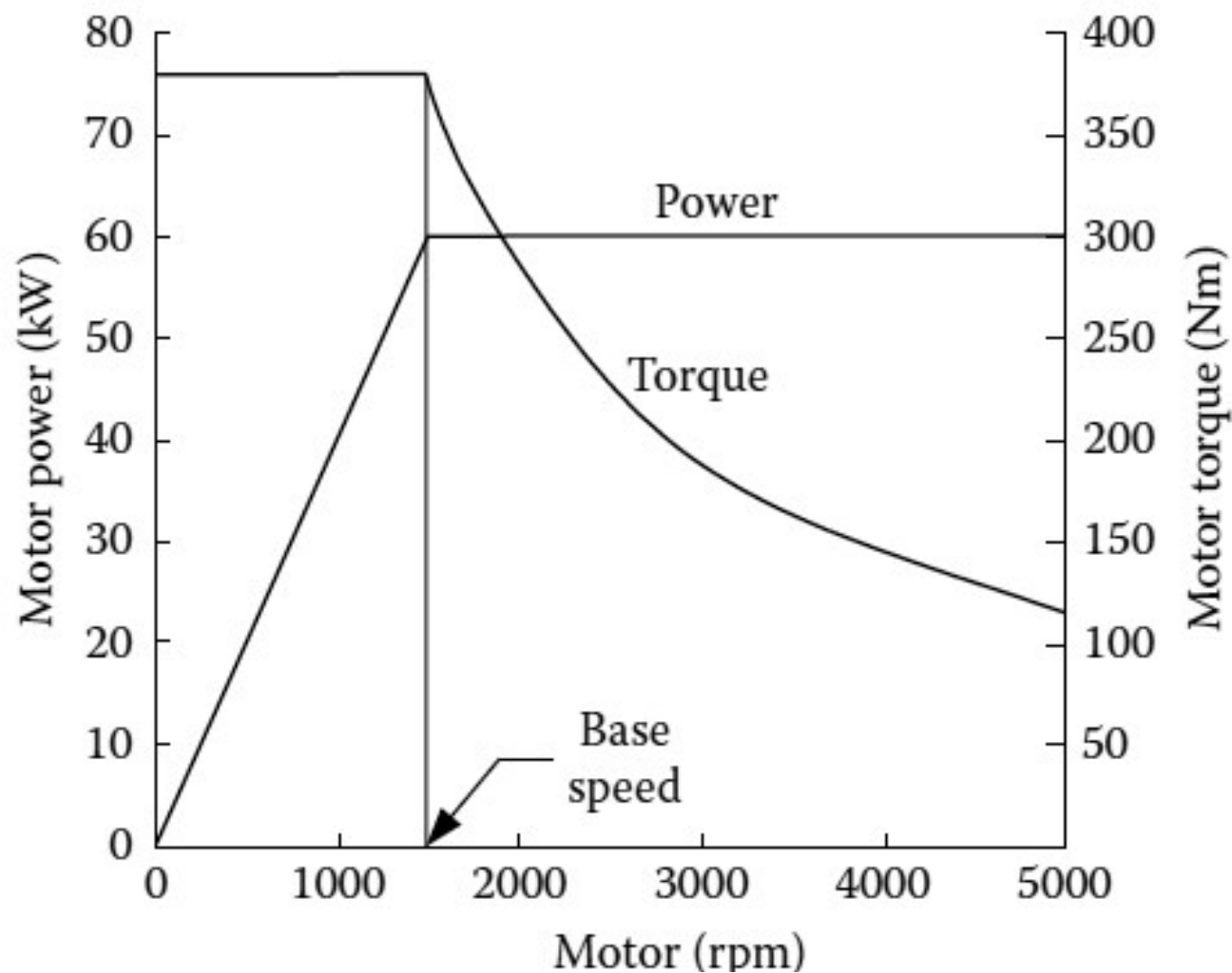
Przykładowa charakterystyka silnika spalinowego przedstawiona jest powyżej. Maksimum mocy jako iloczynu momentu i prędkości obrotowej znajduje się w górnych zakresach prędkości, Natomiast najlepsza sprawność (minimalne jednostkowe zużycie paliwa (spalanie właściwe) określone jako ilość paliwa (w gramach) zużytego do produkcji 1kWh energii, znajduje się w granicach średnich prędkości. Hybrydyzacja daje tę możliwość, że w zakresie niskich obciążeń silnik spalinowy jest dociążany przez układ elektryczny a nadwyżka energii kierowana jest do baterii, natomiast w zakresie dużych obciążeń silnik spalinowy jest odciążany (wspomagany) układem elektrycznym energią pochodzącą z baterii elektrochemicznej.

## ICEV



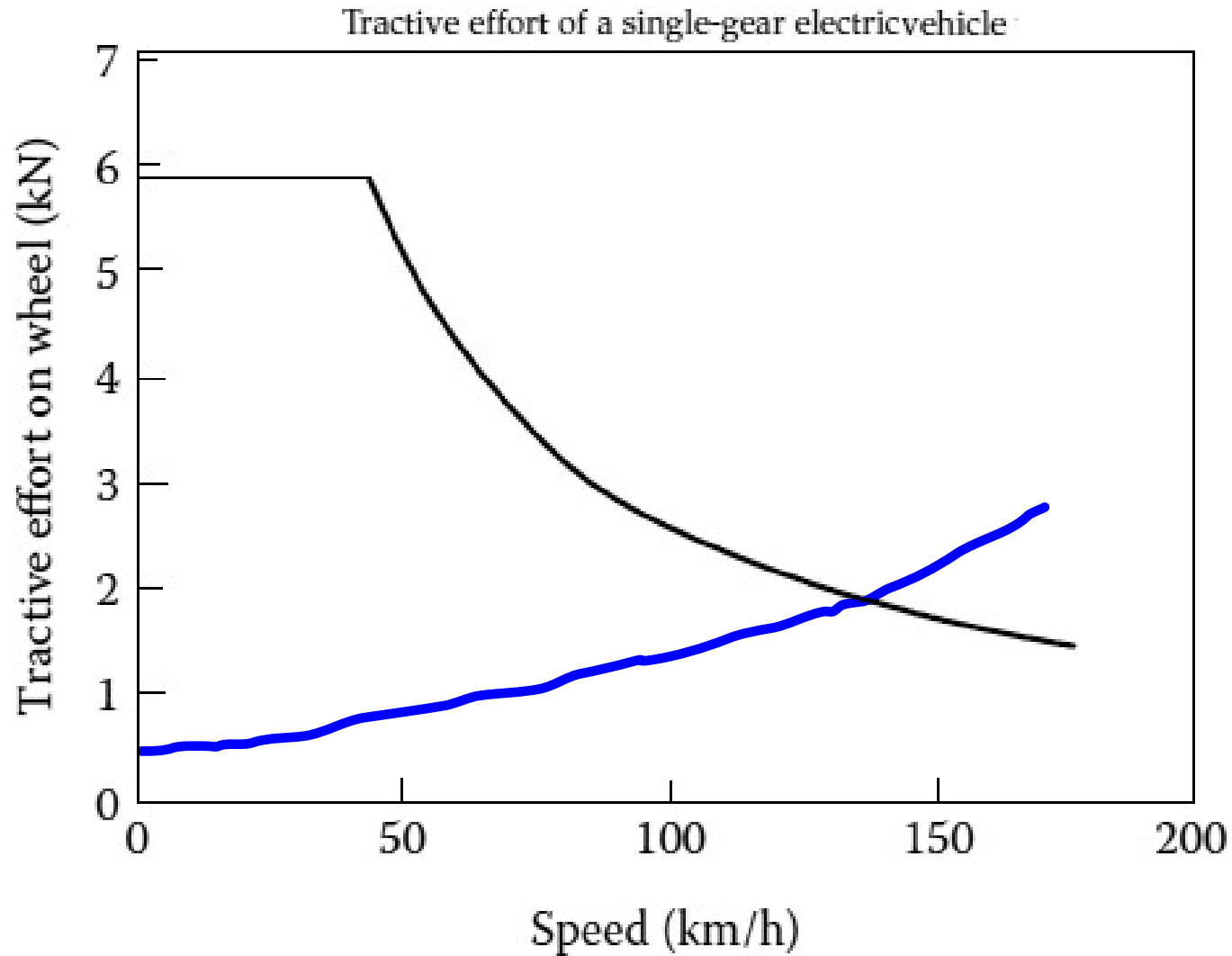
W układzie napędu spalinowego charakterystyka momentu silnika spalinowego jest przenoszona na koła przez wybór odpowiedniego biegu w sterowanej manualnie bądź automatycznie skrzyni biegów w zależności od prędkości postępowej pojazdu. Pokazane jest to na rysunku powyżej. Oczywiście można próbować wystartować z wysokiego biegu, ale niski moment napędowy nie pozwala na pokonanie oporów ruchu i możemy zdławić silnik. O rozsądnym przyśpieszeniu możemy w ogóle zapomnieć. Możemy też na niskim biegu wchodzić na wysokie obroty silnika, żeby uzyskać jak najwyższą prędkość pojazdu, tylko szkoda silnika. Zmniejszanie momentu napędowego na kołach przez wybór wyższego biegu zmniejsza nam możliwości przyśpieszania zgodnie z drugą zasadą dynamiki Newtona. Charakterystyka wypadkowa momentu jakim dysponujemy w zależności od prędkości postępowej (jeśli poprawnie zmieniane są biegi) daje mniej więcej charakterystykę stałej mocy. Pamiętajmy jednak, że o przyśpieszeniu pojazdu nie decyduje moc a moment osiągniany na kołach.

## Silnik elektryczny



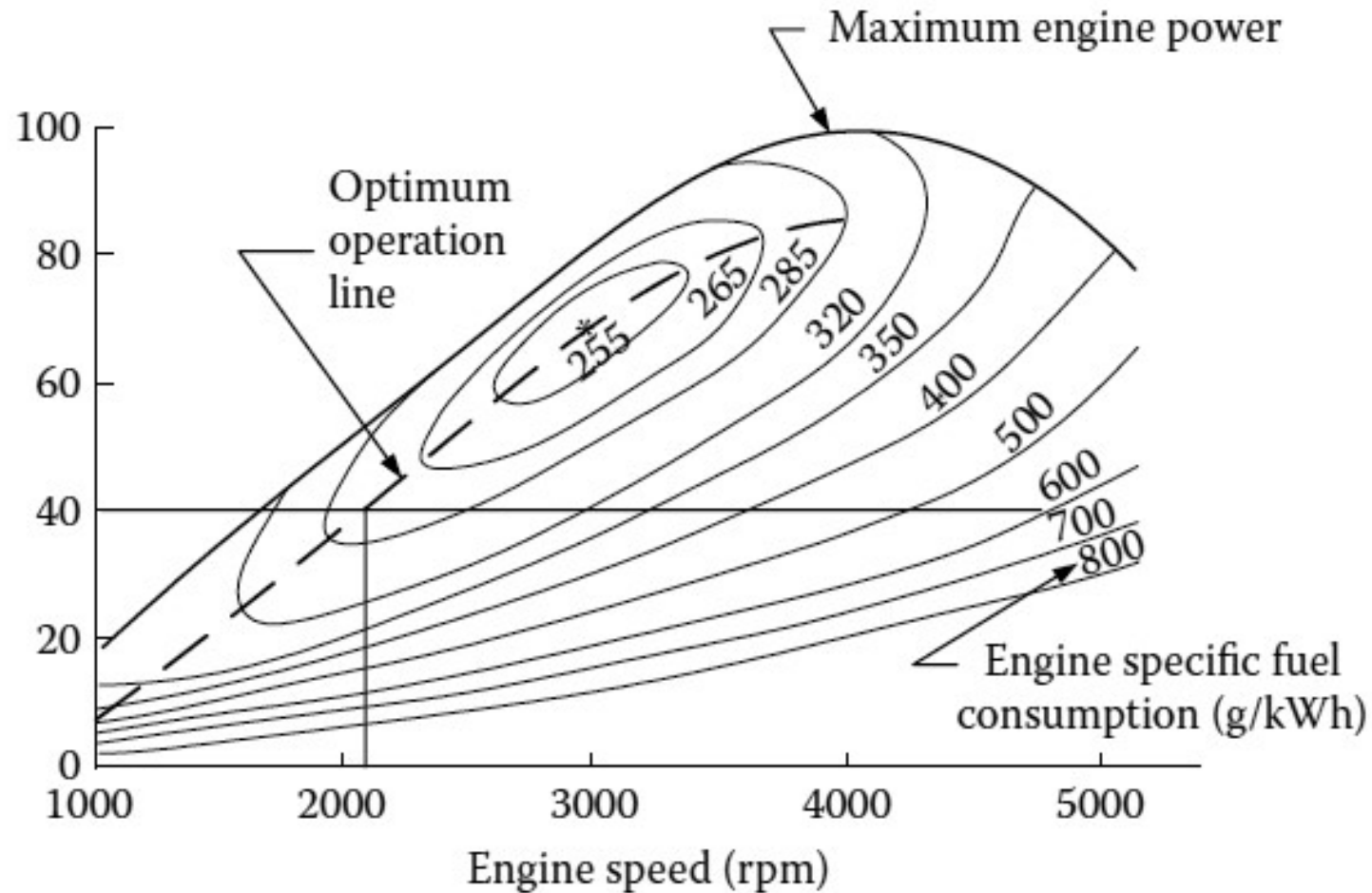
Silnik elektryczny sterowany jest również w ten sposób, że w pewnym zakresie prędkości dysponuje stałym momentem maksymalnym (oczywiście jeśli do utrzymania pewnej stałej prędkości potrzeba mniejszego momentu, to wytwarzany moment jest mniejszy, ale charakterystyka pokazuje osiągi maksymalne). Moment zależy od prądu czynnego podawanego do stojana maszyny. Po osiągnięciu pewnej prędkości uzależnionej od wartości dostępnego napięcia baterii nie można dalej rozpędzać silnika z jednoczesnym utrzymaniem momentu. Żeby móc rozpędzić maszynę powyżej, należy zmniejszyć jej siłę elektromotoryczną (napięcie wewnętrzne indukowane przez strumień magnetyczny od magnesów trwałych i ruch obrotowy maszyny) przez osłabienie pola magnetycznego prądem biernym pojemnościowym podawanym od strony stojana. Zagadnienie to w szczególności nie będzie omawiane na kursie podstawowym napędu elektrycznego. Chodzi jednak o to, żeby przybliżyć zagadnienie i przedstawić, że w pewnym zakresie charakterystyka trakcyjna jest zbliżona do charakterystyki

## EV



Charakterystyka mechaniczna silnika (poprzedni slajd) w pojeździe elektrycznym lub w hybrydzie szeregowej przekłada się wprost na charakterystykę trakcyjną pojazdu. Przy wyższych prędkościach siła napędowa zależna wprost od momentu silnika słabnie przez co możliwe do osiągnięcia przyspieszenia są przy wyższych prędkościach mniejsze. Maksymalna prędkość jaką pojazd może osiągnąć wynika z punktu przecięcia się charakterystyki siły napędowej oraz charakterystyki oporów ruchu zależnej indywidualnie od konstrukcji pojazdu i rodzaju nawierzchni.

=====



Należy jasno powiedzieć, że energooszczędność hybrydy nie wynika z tego, że możemy odzyskiwać energię hamowania. Energia hamowania to jest odzysk energii kinetycznej pojazdu, która wcale nie jest duża w porównaniu do energii którą w cyklu pracy należy dostarczyć, żeby pokonać jakiś odcinek. opory ruchu są dominujące w zużyciu energii.

Napęd hybrydowy stosuje się po to, żeby silnik spalinowy mógł pracować w optymalnych punktach (punkcie) pracy, to jest w punktach o najmniejszym zużyciu paliwa w przeliczeniu na ilość wytworzonej energii.