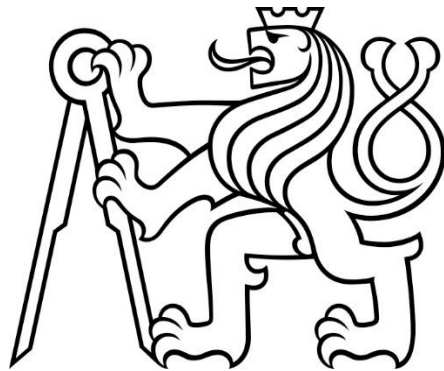


**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2018**

**Jakub Teršíp**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Teršíp** Jméno: **Jakub** Osobní číslo: **459643**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Hybridní pohony sportovních a soutěžních vozidel**

Název bakalářské práce anglicky:

**Hybrid powertrains of sports and competition vehicles**

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte přehled a analýzu předpisů týkajících se hybridních pohonů sportovních, soutěžních a závodních vozidel. Popište vybrané typy vozidel v jednotlivých kategoriích a jejich technické parametry. Sledujte vývojové trendy v této oblasti.

Seznam doporučené literatury:

DP M. Novotný: Hybridní pohony sportovních, soutěžních a závodních automobilů.  
Internet. Přednášky Hybridní pohony.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

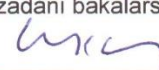
**Ing. Josef Morkus, CSc., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **18.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **11.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce:

  
Ing. Josef Morkus, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce


  
doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použitých literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

25.4.2018  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Hybridní pohony sportovních, soutěžních a závodních automobilů“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Josefa Morkuse, CSc., s použitím zdrojů, které jsou uvedeny na konci bakalářské práce v seznamu zdrojů.

V Praze dne 22.6.2018

.....

*vlastnoruční podpis autora*

## **Anotační list**

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Jméno autora:             | Jakub Teršíp                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Název bakalářské práce:   | Hybridní pohony sportovních a závodních vozidel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Anglický název:           | Hybrid powertrains of sport and race cars                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Akademický rok:           | 2017/2018                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Ústav/obor:               | Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel/motorová vozidla                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Vedoucí bakalářské práce: | Ing. Josef Morkus, Csc.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Bibliografické údaje:     | Počet stran: 65<br>Počet obrázků: 53<br>Počet tabulek: 10<br>Počet příloh: 0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Klíčová slova:            | Hybrid, hybridní pohon, hybridní sportovní vůz, hybridní závodní vůz, pravidla týkající se hybridních závodních vozidel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Keywords:                 | Hybrid, hybrid powertrain, hybrid sport car, hybrid race car, rules for hybrid race cars                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Anotace:                  | Tato bakalářská práce se zabývá základními koncepty, které jsou charakteristické pro technologii hybridních automobilů. Práce je primárně zaměřena na problematiku sportovních a závodních hybridních vozidel. Jmenovitě se práce zabývá konstrukčním řešením jednotlivých hybridních pohonů a parametry, kterých je použitím těchto pohonů dosaženo. V neposlední řadě práce analyzuje základní pravidla Formule1 a vytrvalostního závodu LeMans, kterými se řídí vývoj závodních vozů. |
| Abstract:                 | This bachelor thesis deals with the basic concepts that are characteristic of hybrid car technology. The work is primarily focused on the issue of sports and racing hybrid vehicles. Namely, it deals with the design solutions of individual hybrid drives and the parameters that are achieved by the use of these drives. The work also analyzes the basic rules of Formula 1 and the LeMans endurance race, which govern the development of racing cars.                            |

## Obsah

|       |                                                             |    |
|-------|-------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Úvod.....                                                   | 1  |
| 2     | Hybridní vozidlo .....                                      | 2  |
| 2.1   | Rozdělení hybridních pohonů podle funkce .....              | 2  |
| 2.1.1 | Micro hybrid.....                                           | 3  |
| 2.1.2 | Mild hybrid.....                                            | 3  |
| 2.1.3 | Full hybrid .....                                           | 3  |
| 2.1.4 | Plug-in hybrid.....                                         | 3  |
| 2.2   | Rozdělení hybridních pohonů podle koncepce uspořádání ..... | 3  |
| 2.2.1 | Sériové uspořádání .....                                    | 4  |
| 2.2.2 | Paralelní uspořádání .....                                  | 5  |
| 2.2.3 | Kombinované uspořádání.....                                 | 7  |
| 3     | Komponenty hybridních pohonů .....                          | 8  |
| 3.1   | Spalovací motor .....                                       | 8  |
| 3.2   | Elektromotor.....                                           | 8  |
| 3.3   | Akumulátory .....                                           | 9  |
| 3.4   | Převodovky.....                                             | 10 |
| 4     | Systémy rekuperace energie.....                             | 11 |
| 4.1   | KERS .....                                                  | 11 |
| 4.2   | ERS .....                                                   | 13 |
| 4.2.1 | MGU-K .....                                                 | 13 |
| 4.2.2 | MGU-H .....                                                 | 14 |
| 5     | Sportovní a supersportovní hybridní automobily .....        | 15 |
| 5.1   | Důvody, proč sportovní hybridy vznikly.....                 | 15 |
| 5.2   | Sportovní hybridní automobily.....                          | 16 |
| 5.2.1 | Honda NSX (Acura NSX).....                                  | 17 |
| 5.2.2 | Lexus LC 500h .....                                         | 21 |

|       |                                              |    |
|-------|----------------------------------------------|----|
| 5.2.3 | Porsche Panamera .....                       | 25 |
| 5.2.4 | BMW i8.....                                  | 29 |
| 5.3   | Supersportovní hybridní vozy .....           | 32 |
| 5.3.1 | Mc Laren P1 .....                            | 33 |
| 5.3.2 | Ferrari La Ferrari .....                     | 36 |
| 5.3.3 | Porsche 918 Spyder .....                     | 39 |
| 5.3.4 | Mercedes-AMG Project ONE .....               | 42 |
| 6     | Závodní hybridní automobily .....            | 45 |
| 6.1   | Důvody .....                                 | 45 |
| 6.2   | Formule 1.....                               | 45 |
| 6.2.1 | Pravidla a jejich důsledky v praxi .....     | 45 |
| 6.2.2 | Budoucí předpokládaný vývoj .....            | 49 |
| 6.3   | LeMans .....                                 | 50 |
| 6.3.1 | Vývoj hybridních vozů v kategorii LMP1 ..... | 50 |
| 6.3.2 | Porsche 919 Hybrid (2017) .....              | 53 |
| 6.3.3 | Toyota TS050 .....                           | 55 |
| 7     | Závěr .....                                  | 57 |
| 8     | Použité zdroje.....                          | 58 |
| 9     | Seznam obrázků .....                         | 63 |
| 10    | Seznam tabulek .....                         | 65 |

# 1 Úvod

Od vynalezení spalovacích motorů uběhla již velmi dlouhá doba a dalo by se říci, že automobily se spalovacími motory se dostaly až na samý vrchol účinnosti, tedy pokud nepřijde nějaký zlomový objev, nedá se předpokládat, že by došlo k výraznému zlepšení. Na motorkáře a automobilky obecně je vyvíjen velký tlak, způsobený emisními omezeními, co se týče výfukových plynů  $\text{CO}_2$  a  $\text{NO}_x$ . V případě nesplnění těchto norem musí platit automobilky obrovské pokuty. Dieslové motory se tak dostaly na samou hranu použitelnosti a někteří výrobci prohlásili, že do budoucna od nich odstoupí úplně. Je jasné, že prvními automobily, které tyto limity nebudou splňovat, jsou pro civilní provoz určená sportovní vozidla. Proto vznikly hybridní modely sportovních vozidel a předpokládá se, že jich bude čím dál tím více. Důkazem je to, že se hybridy dostaly i do největší automobilové soutěže Formule 1, vytrvalostního závodu LeMans, ale i mnoha dalších jako je například GT3, kde se ovšem zatím hybridní automobily příliš neprosadily. Právě z toho důvodu, že se jedná o zatím poměrně nové a rozvíjející se odvětví, jsem si toto téma zvolil. V bakalářské práci popisuji základní pojmy, co se týče hybridu obecně, a poté se zaměřuji na konkrétní sportovní civilní vozy. Na konci práce se věnuji pravidlům a omezením, kterými se musí jednotlivé automobilky řídit u závodních vozů a popisuji hybridní techniku v jednotlivých soutěžích.

## 2 Hybridní vozidlo

Vozidlo vybavené nejméně dvěma zásobníky energie (palivová nádrž, baterie apod.) a odpovídajícími agregáty – motory nebo elektromotory, které energii transformují na trakční práci. Přičemž alespoň jeden z akumulátorů bývá dobíjitelný během jízdy. [1]



Obr. 1 – Základní uspořádání hybridního vozidla [1]

### 2.1 Rozdělení hybridních pohonů podle funkce

Jedním ze dvou možných rozdělení hybridních automobilů je rozdělení podle stupnice, kde na jedné straně stojí vozidlo s konvenčním pohonem a na straně druhé ryzí elektromobil, který zastává pouze SM. Je zde vyjádřeno, v jakém poměru se jednotlivé zdroje energie podílejí na pohonu vozidla. Rozdělení do těchto skupin je následující. [1]

| Automobil                                                                                    | Micro-hybrid                                                     | Mild-hybrid                                                                                                                                       | Full-Hybrid                                                                                                                                                                                         | Plug-in hybrid                                                                                                                                                                                                                   | Hybridní elektromobil (paralelní range extender)                                                                                                                                                                                                 | (Sériový) range extender                                                                                                                                                                                 | Elektromobil                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pokročilá technologie spalovacích motorů</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Start - Stop</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Start - Stop</li> <li>• Elektromotor podporuje spalovací motor</li> <li>• Rekuperační brzdění</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Start - Stop</li> <li>• Elektromotor podporuje spalovací motor</li> <li>• Elektrický pohon na krátké vzdálenosti</li> <li>• Rekuperační brzdění</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Start - Stop</li> <li>• Elektromotor podporuje spalovací motor</li> <li>• Elektrický pohon na střední vzdálenosti</li> <li>• Dobíjení ze sítě</li> <li>• Rekuperační brzdění</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrický pohon</li> <li>• Spalovací motor vyrábí elektrický proud nebo je přímo připojen k hnacím ústrojí k prodloužení dojezdu</li> <li>• Dobíjení ze sítě</li> <li>• Rekuperační brzdění</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrický pohon</li> <li>• Spalovací motor vyrábí elektrický proud k prodloužení dojezdu</li> <li>• Dobíjení ze sítě</li> <li>• Rekuperační brzdění</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektrický pohon</li> <li>• Dobíjení ze sítě</li> <li>• Rekuperační brzdění</li> </ul> |

Obr. 2 – Rozdělení hybridních pohonů podle funkce [1]



### 2.1.1 Micro hybrid

V dnešní době je znám jako systém Start-stop. Nejedná se o hybridní systém jako takový, neboť se využití elektřiny omezuje pouze na systém stop-start (při zastavení dojde k vypnutí spalovacího motoru) nikoli k pohonu vozidla. Spalovací motor tady není opětovně spouštěn startérem, nýbrž reverzibilním alternátorem přes řemen pohonu příslušenství. [1]

### 2.1.2 Mild hybrid

Jako ekvivalent lze použít výraz „motor assist hybrid“. Vozidlo využívá k pohonu primárně spalovací motor. Elektromotor funguje pouze jako podpora spalovacího motoru např. při rozjezdu, a když vůz brzdí, funguje elektromotor jako generátor. Přebírá také funkci startéru a alternátoru. [1]

### 2.1.3 Full hybrid

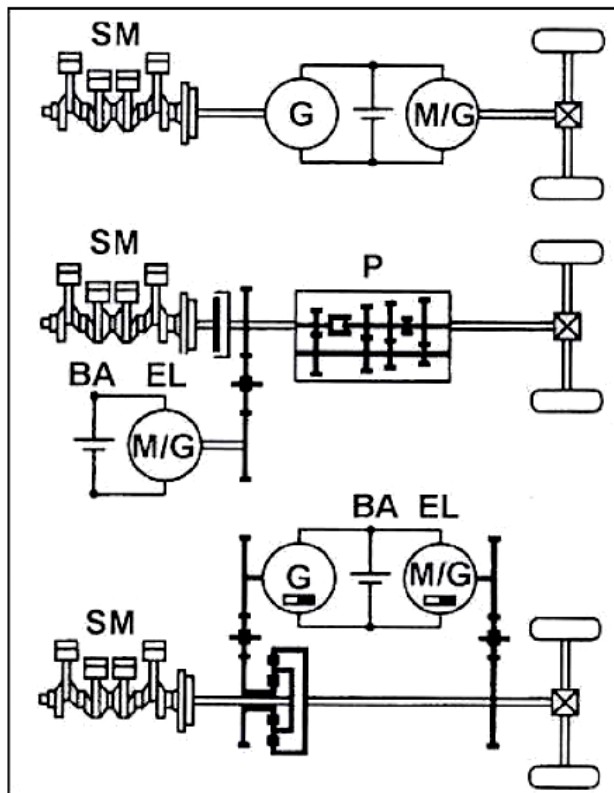
Full hybrid nebo také „strong hybrid“, je označení vozidla, kde hnací síla automobilu je zajištěna buď pouze elektromotorem, či spalovacím motorem, nebo kombinací obou. Proto systém bývá vybaven mechanickým, nebo elektronickým děličem výkonu. Při rozjezdu a pomalé jízdě je vozidlo poháněno pomocí elektromotoru a spalovací motor se připojí až později (vyšší rychlost, dodatečně pružné zrychlení). Vozidla také mají funkci regenerativního brždění, kdy je vysokonapěťový akumulátor dobíjen energií vytvořenou v generátoru při zpomalování vozidla. [1]

### 2.1.4 Plug-in hybrid

Jedná se o modifikaci Full hybridu. Plug-in hybrid musí mít schopnost dobíjet trakční akumulátor ze sítě. Takto udělané hybridy mají za tímto účelem baterie zpravidla lithium-ion, které jim umožňují ujet na elektřinu delší vzdálenost než klasické hybridy (asi 50 km). [1]

## 2.2 Rozdělení hybridních pohonů podle koncepce uspořádání

Druhé možné rozdělení hybridních pohonů. Dělí se na sériové, paralelní a kombinované uspořádání hnacího řetězce.



Paralelní uspořádání

Sériové uspořádání

Kombinované  
uspořádání s děličem  
výkonu

Obr. 3 – Rozdělení hybridů podle uspořádání [1]

### 2.2.1 Sériové uspořádání

Základní myšlenkou sériového hybridu je skutečnost, že spalovací motor pohání výhradně generátor střídavého proudu. Ten jej dodává přes invertor do trakčního akumulátoru. V praxi tak vlastně spalovací motor funguje pouze v roli zařízení na výrobu elektrického proudu. Jeho přímý pohon tak zajišťuje výhradně elektromotor, jenž kola pohání přes redukční převod, tedy bez klasické převodovky, ať už vícestupňové, nebo s plynulou změnou převodu (CVT). Lze využít některý ze systémů rekuperace energie, např. regenerativní brzdění. Toto uspořádání je vhodné zejména pro městský provoz – časté rozjíždění a zastavování. U automobilů je sériové uspořádání rozšířeno méně. [1, 2, 3]

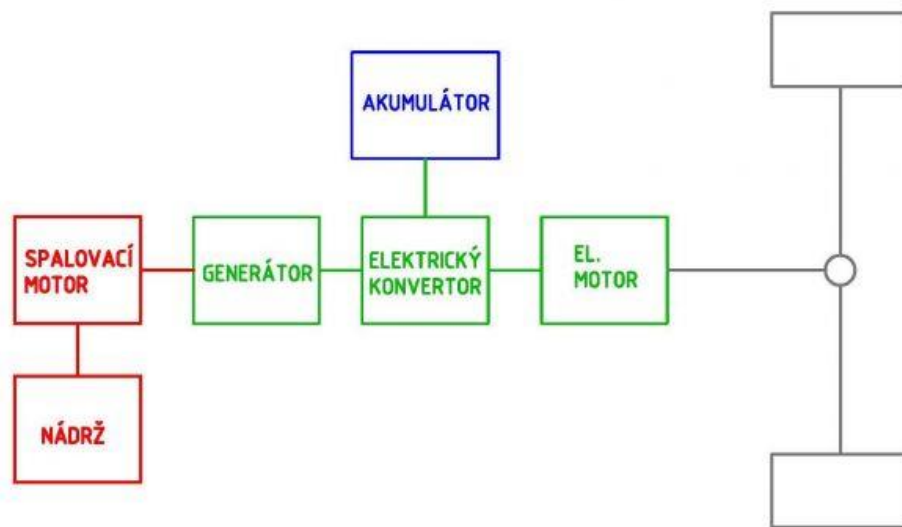
Příklad použití: Městské autobusy

Výhody:

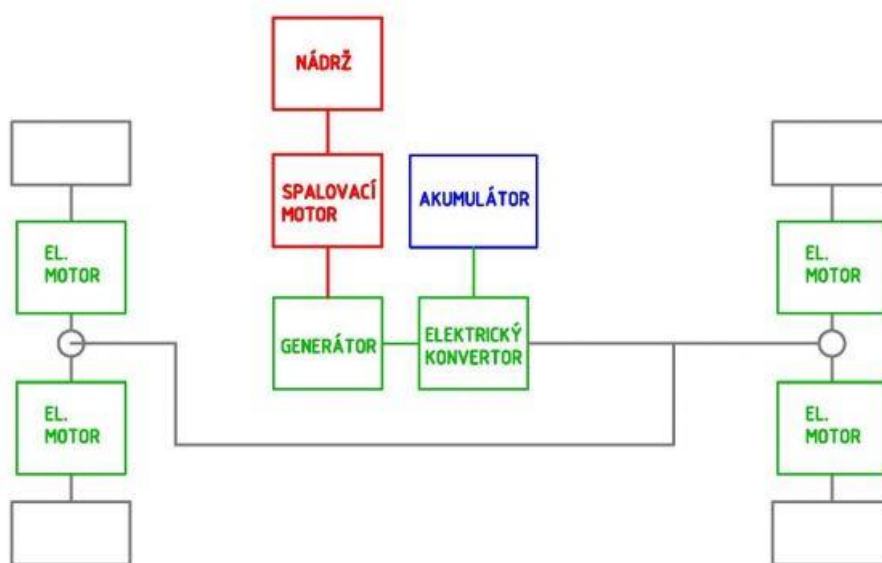
- Absence klasické převodovky
- Spalovací motor pracuje v optimálních otáčkách proto lze dosáhnout maximální účinnosti

Nevýhody

- vysoká cena a hmotnost pohonu – dva elektrické stroje
- vícenásobná přeměna energie-ztráty



SÉRIOVÝ HYBRID



SÉRIOVÝ HYBRID 4x4

Obr. 4 – Typy sériového uspořádání [2]

### 2.2.2 Paralelní uspořádání

Zásadní rozdíl, oproti sériovému uspořádání, je v tom, že zde již spalovací motor může přímo pohánět vozidlo, a to přes klasickou převodovku i redukční převod. Elektromotor (generátor) může být umístěn mezi spalovací motor a převodovku, kde plní mimo jiné funkci alternátoru a startéru. Elektrická energie je ukládána v akumulátorech. Za účelem

zvýšení účinnosti spalovacího motoru jsou elektrické spotřebiče na palubě vozidla zásobovány energií z akumulátoru, případně generátoru. Obvykle dodává většinou část výkonu spalovací motor a elektromotor je připojen pouze v případě potřeby pokrytí výkonových špiček, nebo mezer při nedostatku kroutícího momentu. Paralelní konfigurace umožňuje práci pohonu ve čtyřech režimech v závislosti na jízdních podmínkách. Vozidlo tak může pohánět elektromotor i kombinace elektromotoru a spalovacího agregátu (hybridu). Dále je zde ještě režim dobíjení akumulátoru a rekuperace brzdné energie. Mezi spalovací motor a elektromotor/generátor je obvykle vložena třecí spojka. Při rekuperaci, stejně jako v režimu elektrického pohonu, je rozpojena, ve zbylých dvou módech spojena. [1, 2, 3]

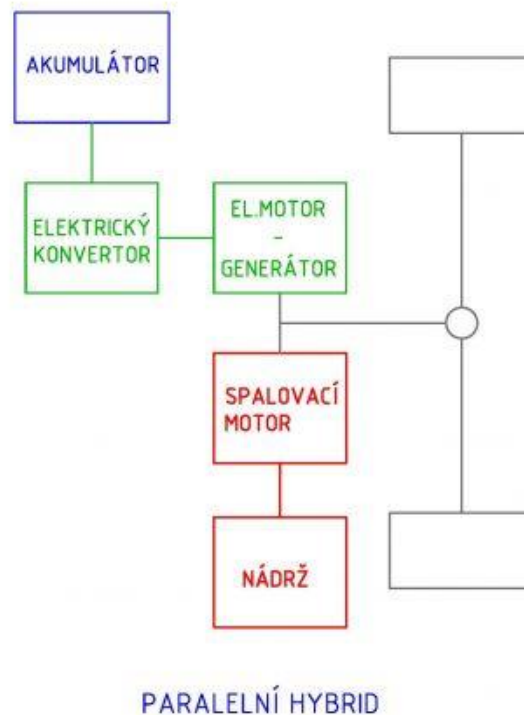
Příklad použití: Honda Insight

Výhody:

- Jednoduchost (elektromotor a generátor jsou jeden celek)
- Nízká servisní náročnost
- Menší ztráty spojené s transformací energie (oproti sériovému zapojení)

Nevýhody

- Potřeba mechanického převodu (převodovky)
- Spalovací motor pracuje také v neekonomických režimech



Obr. 5 – Typy paralelního uspořádání [2]

### 2.2.3 Kombinované uspořádání

Jde o spojení sériového a paralelního uspořádání. Vhodně kombinuje předchozí dva typy pohonu a eliminuje jejich největší nedostatky. Z technické stránky jde o nejsložitější a také nejdražší systém. Využívá princip větvení výkonu, který zajišťuje tzv. dělič výkonu, nejčastěji se jedná o planetovou převodovku, jsou zde ovšem i jiné možnosti. Je to systém, který dělí výkon v reálném čase mezi elektrickou a mechanickou větví. Poměr zaleží na jízdním režimu.

[1, 2, 3]

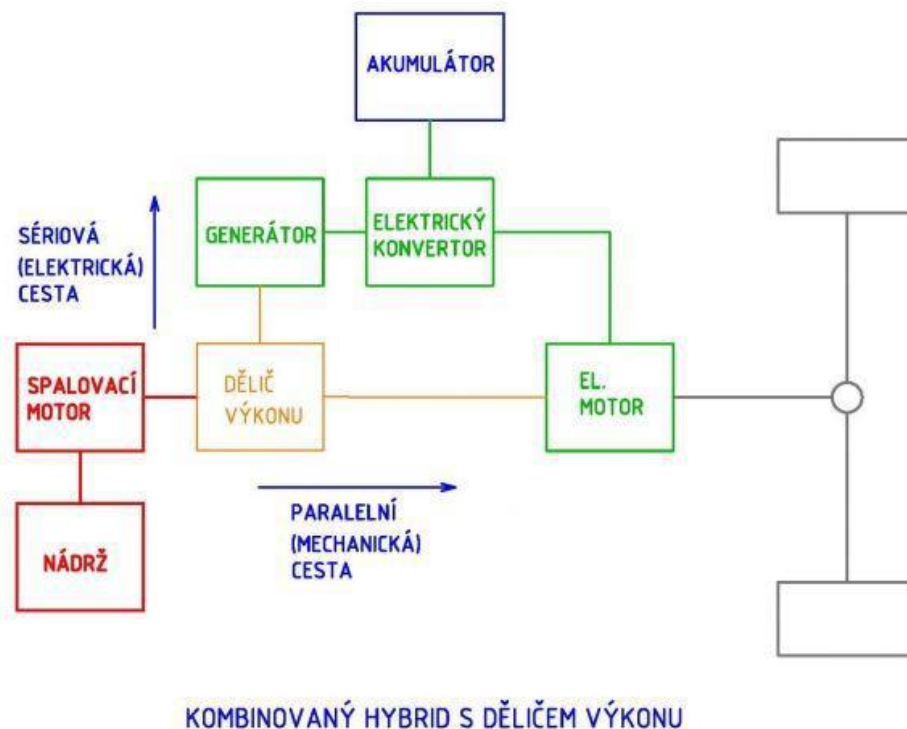
Příklad použití: Toyota Prius, Lexus LC

Výhody:

- Vysoká účinnost i ve vysokých (dálničních) rychlostech
- Využití optimálních režimů
- Nejpoužitelnější pro reálný provoz

Nevýhody:

- Složitý systém
- Během rozjíždění v sériovém režimu dochází ke ztrátám způsobených přeměnou energie



Obr. 6 – Typ kombinovaného uspořádání [2]

## 3 Komponenty hybridních pohonů

Hybridní motor jako celek se skládá z několika částí. Dělí se na spalovací motory, elektromotory, akumulátory a převodovky. Technologie umožňuje více možností pro každý komponent, čímž vznikají různé možnosti pro uspořádání hybridní pohonné jednotky.

### 3.1 Spalovací motor

Hlavním zdrojem energie je stále, jako u normálních aut, palivo z nádrže, které spalovací motor transformuje na mechanickou energii. Mohou být použity zážehové i vznětové motory. Častější volbou ovšem bývá zážehový motor, který je levnější, produkuje méně NOx plynu a tím tak lépe plní ideál, že hybridní pohon by měl být hlavně šetrnější k životnímu prostředí než obyčejný. O tom, jestli je spalovací motor primárním zdrojem, rozhoduje uspořádání hybridního systému. (kapitola 1.1) [1]

|                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| druh vozidla                  | spalovací motor                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>automobil:</b>             | pokrývá celý rozsah potřebných výkonů                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>micro hybrid:</b>          | pokrývá celý rozsah potřebných výkonů při zastavení je vypínán start-stop systémem                                                                                                                                                                                                               |
| <b>mild hybrid:</b>           | pokrývá rozsah potřebných výkonů kromě špičkových režimů, ve kterých je podporován elektromotorem                                                                                                                                                                                                |
| <b>full hybrid:</b>           | je hlavním zdrojem energie kromě rozjezdu a krátkých úseků jízdy na elektřinu; v sériovém zapojení pracuje převážně v oblasti optimální specifické spotřeby, v paralelním/kombinovaném zapojení je podporován elektromotorem a pracuje v oblasti příznivé specifické spotřeby                    |
| <b>plug-in hybrid:</b>        | pro rozjezd a střední vzdálenosti je hlavním zdrojem elektřina; pro delší dojezdy spalovací motor v sériovém zapojení pracuje převážně v oblasti optimální specifické spotřeby, v paralelním/kombinovaném zapojení je podporován elektromotorem a pracuje v oblasti příznivé specifické spotřeby |
| <b>hybridní elektromobil:</b> | je pomocným zdrojem energie pro úseky jízdy, kdy je vybitá baterie; v sériovém zapojení slouží k dobíjení baterií a pracuje v oblasti optimální specifické spotřeby, v paralelním/kombinovaném zapojení podporuje elektromotor a pracuje v oblasti příznivé specifické spotřeby                  |
| <b>range-extender:</b>        | slouží k dobíjení baterií, případně jako zdroj tepelné energie a pracuje v oblasti optimální spotřeby                                                                                                                                                                                            |
| <b>elektromobil:</b>          | nemá spalovací motor                                                                                                                                                                                                                                                                             |

Obr. 7 – Využití spalovacích motorů u jednotlivých druhů vozidel [1]

### 3.2 Elektromotor

Sekundární zdroj točivého momentu je elektromotor. Jeho výhodou je, že od nulových otáček poskytuje veškerý svůj točivý moment a tím skvěle doplňuje spalovací motor, který poskytuje

nejvyšší točivý moment až při vyšších otáčkách. Elektromotor může pracovat jako generátor a během decelerace mění kinetickou energii na elektrickou, kterou dobíjejí akumulátory (rekuperace energie). Účinnost závisí na rozsahu pracovních otáček a pohybuje se okolo 94-97%. Důležitým aspektem je také chlazení, které odpovídá danému elektromotoru. Dělí se na stejnosměrné a střídavé motory (synchronní i asynchronní). Majoritní podíl mají synchronní motory s permanentními magnety, které nejvíce vyhovují požadavkům. [1]

### 3.3 Akumulátory

Na rozdíl od konvenčních vozidel, kde jsou akumulátory zpravidla olověné, se u hybridních vozidel používá akumulátorů celá řada, protože fungují zároveň jako zásobárna energie pro elektromotor. Dají se rozdělit na: elektrické (superkondenzátory a akumulátorové baterie) a mechanické (setrvačníky). Nejdůležitějším aspektem je bezpochyby kapacita, která určuje dobu, po kterou je akumulátor schopen dodávat energii celému systému. Výrazně tak ovlivňuje dojezd, na který se klade u obyčejných aut největší důraz. Dalšími atributy jsou: měrná energie, doba nabíjení a rozměry. Existují nejrůznější druhy akumulátorů do hybridních vozů, např. olověné, lithium-titan-oxidové (LTO), lithium-iontové (Li-Ion), lithium-polymerové (Li-Pol), nickl-metalhydritové (Ni-MH), superkondenzátory a setrvačníky. U závodních vozidel se v této oblasti hodně experimentovalo, poslední dobou se ovšem většina výrobců vrací k bateriím, a to především Li-Ion a LTO, kvůli jejich nízké hmotnosti. [1]

#### Porovnání systémů akumulace energie

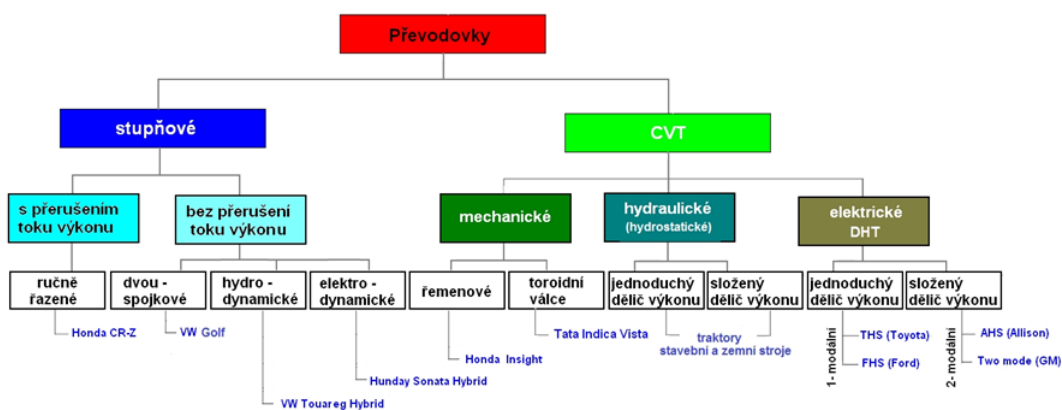
| BATERIE                                                   | SETRVAČNÍK                                 | ULTRAKAPACITOR                             |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| vysoká hustota energie                                    | střední hustota energie                    | nízká hustota energie                      |
| nízká hustota výkonu                                      | střední hustota výkonu                     | velmi vysoká hustota výkonu                |
| rychlost vybíjení omezena<br>dlouhý čas nabíjení > 30 min | přůměrný čas nabíjení<br>80 - 120 sec      | krátký čas nabíjení<br><30 sec             |
| neúplná rekuperace energie<br>při brzdění                 | umožňuje rekuperaci energie<br>při brzdění | umožňuje rekuperaci energie<br>při brzdění |
| omezená životnost 5 - 7 let                               | životnost 30 let                           | životnost 20 let ?                         |
| pokračuje intenzivní vývoj                                | není ověřena bezpečnost provozu            | výkonnost na vzestupu                      |

Obr. 8 – Porovnání systémů akumulace energie [1]



### 3.4 Převodovky

U hybridních vozidel obecně a u sportovních i závodních obzvláště, je největším problémem převodovek nutnost řazení pod zátěží. Proto zde najdeme většinou pouze automatické, nebo CVT převodovky. Jedinou výjimkou byla Honda, která zkoušela a stále zkouší speciální manuální modul pro hybridní vozidla, který se ovšem pro svoji složitost zatím s velkým úspěchem neseťkal. Pro sportovní a závodní vozidla se z velké části používají automatické převodovky, které v manuálním režimu umožňují řidiči řadit podle svých vlastních potřeb. Existují i takové případy, že místo převodovky automobilka použila soustavu elektromotorů (koenigsegg regera). [1]



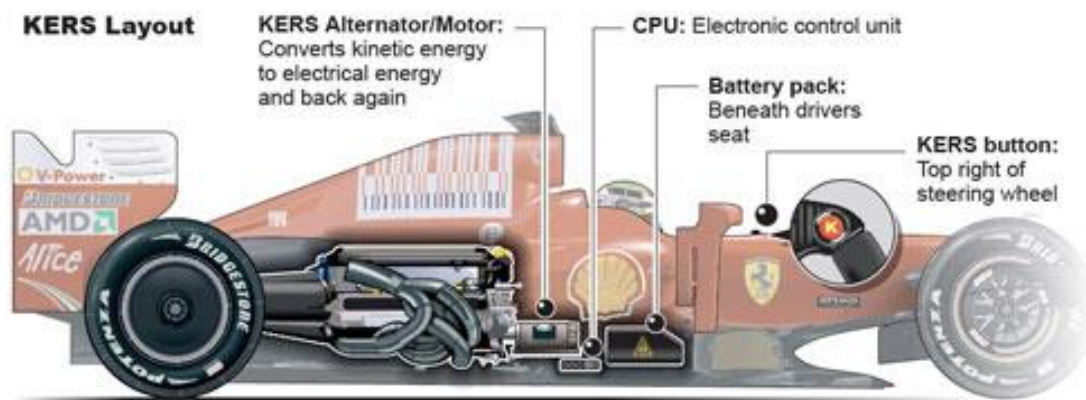
Obr. 9 – Druhy převodovek u hybridních vozidel [1]



## 4 Systémy rekuperace energie

### 4.1 KERS

Prvním systémem rekuperace energie, který byl použit u Formule 1, byl KERS (Kinetic Energy Recovery System), neboli systém rekuperace kinetické energie. V roce 2010 byl poprvé povinně instalován do vozů a používal se až do roku 2013, kdy ho vystřídal systém ERS. Systém funguje pomocí generátoru umístěného na hnací hřídeli. Při brždění se ztrátová kinetická energie přetransformuje buď ve formě mechanické energie do setrvačnicku, nebo jako elektrická energie do akumulátoru případně kondenzátoru. Při potřebě má závodník na volantu k dispozici tlačítko, kterým energii využije k většímu zrychlení vozidla. Tento systém tak pomáhal tehdejším V8 motorům s obsahem 2,4l vyplňovat výkonové mezery např. na výjezdu ze zatáčky nebo jako bonusový výkon na rovinkách. KERS byl navržen tak, aby byl schopný produkovat 60kW (82 koní) na 6,7s v každém kole. Tyto parametry byly dány pravidly Formule 1. Nevýhodou je hmotnost, která se pohybovala okolo 30-35 kg a technická náročnost hlavně při použití setrvačnicků, které točí okolo 50 000 otáček za minutu. [4,5]



Obr. 10 – KERS systém u formule 1 [4]

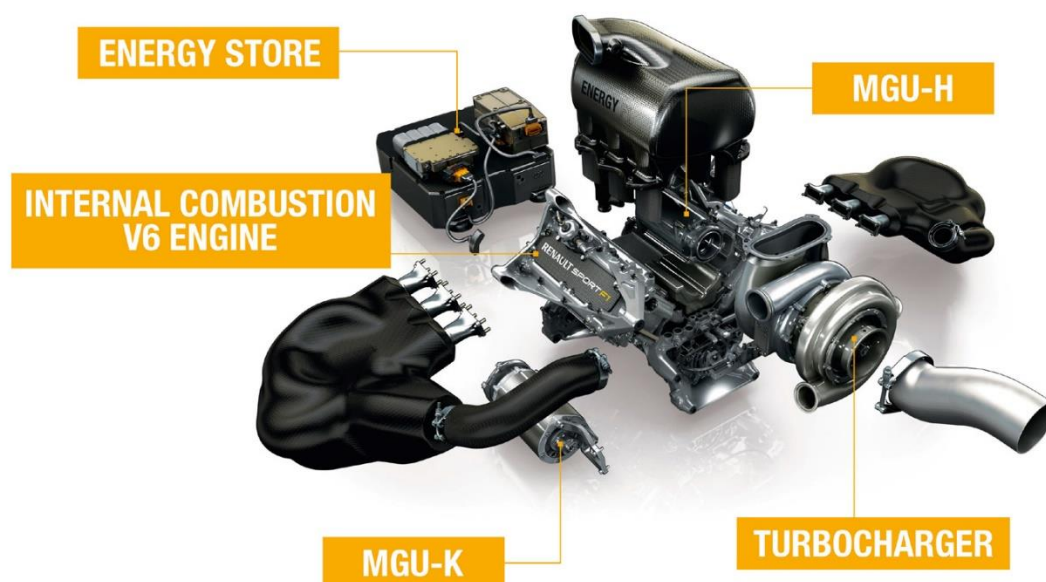


Obr. 11 – Funkce KERS systému [4]

1. Při brždění KERS sbírá přebytečnou energii, která vzniká třením
2. CPU posílá energii do baterie umístěné pod sedačkou řidiče
3. Energie je uložena v baterii a je připravena pro další využití
4. Když je potřeba, jezdec pomocí tlačítka na volantu použije energii např. při předjíždění
5. CPU vrací energii zpět do KERS systému, pomocí kterého pohon získává výkon navíc

## 4.2 ERS

Je to modernější systém, který se používá ve Formuli 1 dodnes. Byl vyvinut z KERSu s novými pravidly o získávání a využívání energie, která vzniká rekuperací při brždění přímo na hnací hřídeli. S ERS systémem se hybridizace automobilu formule 1 výrazně zvýšila. ERS se skládá ze dvou generátorů MGU-K a MGU-H, kde každý získává energii jiným způsobem. Doba, po kterou může jezdec tyto systémy využívat, je v určitých případech neomezená a hybridní systém není používán jen ke zrychlení, avšak je využíván velice komplexním způsobem, který popisují v kapitole 6.



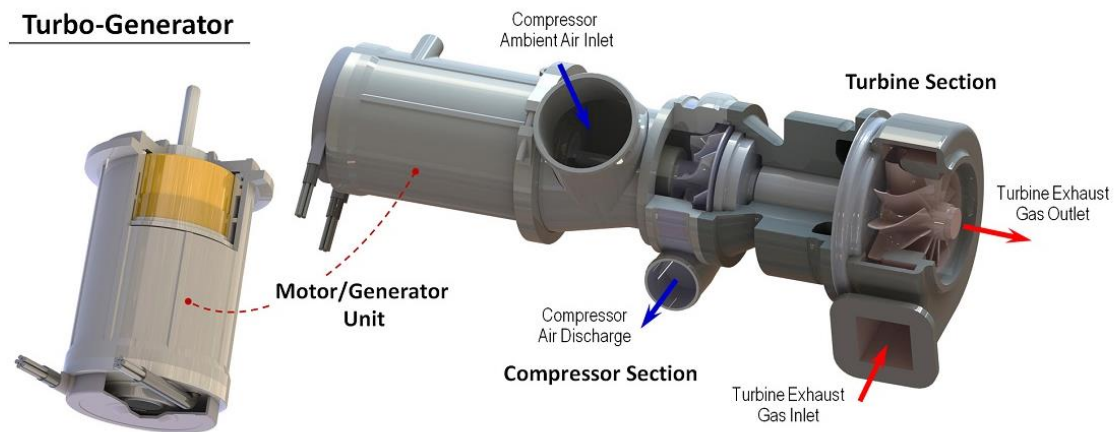
Obr. 12 – Uspořádání ERS systému u formule 1 [6]

### 4.2.1 MGU-K

MGU-K je vylepšený KERS. Setrvačnickové verze se ukázaly jako slepá cesta evoluce a bez výjimky je nahradily motogenerátory připojené na zadní nápravu. Podle současných pravidel může mít akumulátor hmotnost 20-25kg. Používá se při brždění, ale také při akceleraci, kde pilot nepotřebuje veškerý výkon motoru. [7]

#### 4.2.2 MGU-H

MGU-H je systém, který využívá energii výfukových plynů díky motogenerátoru, který je připojen k turbíně. Turbína vyrábí elektřinu, která se ukládá do akumulátoru. Jezdec může MGU-H využít dvěma způsoby. První umožňuje předtáčet turbodmychadlo, aby měl motor nejvyšší možný výkon, a druhý je, že energii získanou na turbíně posílá do akumulátoru, nebo okamžitě přenáší na motogenerátor u MGU-K, který pomáhá spalovacímu motoru na zadní nápravě. Nevýhodou je, že při získávání energie z MGU-H se ztrácí část výkonu spalovacího motoru kvůli zpětnému tlaku výfukových plynů. MGU-H ukládá energii hlavně na konci rovinek, kdy je MGU-K odpojen, výfukové plyny mají přebytečnou energii a ztráta výkonu spalovacího motoru je nepodstatná. [7,8]



Obr. 13 – Turbo – Generátor [9]

# 5 Sportovní a supersportovní hybridní automobily

Jedná se o skupinu vozů s hybridním pohonným systémem, které jsou uzpůsobeny pro silniční provoz.

## 5.1 Důvody, proč sportovní hybridy vznikly

1. Zlepšení dynamických vlastností vozu, kdy elektromotor vyplňuje výkonové mezery spalovacího motoru
2. Snížení produkce emisí CO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>
3. Snížení spotřeby paliva

U aut, na která se nekladou žádné sportovní nároky, je asi zjevné, že hlavním důvodem je snížení emisí CO<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>. U sportovních vozů se jedná o vedlejší produkt, jelikož velké spalovací motory, které tyto vozy pohání, i tak produkují emisí hodně a udávané spotřeby hybridního systému, jsou nereálné. Hybridní systém je zde hlavně z důvodu vyplnění výkonových mezer spalovacího motoru, a to především v nízkých otáčkách. V některých případech se může jednat i o jistou snahu odlišit se od ostatních. Pro rok 2017 je flotilový limit CO<sub>2</sub> v EU 118,5 g/km a pro rok 2021 je plánovaná hodnota 95 g/km. Za jeden gram přesahující flotilový limit zaplatí automobilka 5 eur z každého prodaného vozu, za dva gramy 15 eur, za tři 25 eur a za každý další gram 95 eur. To by u malých automobilek, které se specializují na sportovní automobily, byly obrovské sankce, a tak existuje výjimka pro ty, kteří produkují méně jak 10 000 vozů ročně dle individuálních možností. Jedná se především o automobilky Ferrari a McLaren. Lamborghini a Porsche tento problém vyřešily tím, že se připojily ke koncernu Volkswagen a na všechny, co pod tento koncern spadají se pohlíží jako na jednu společnost, a proto jsou schopny limity splnit. Kvůli brzkému snížení limitu se ovšem Porsche snaží co nejvíce zdokonalit svoji hybridní technologii, a tak například vrcholná motorizace modelu Panamera je hybrid. [10]

| Make             | Av. CO <sub>2</sub><br>2017<br>(g/km) | Av. CO <sub>2</sub><br>2016<br>(g/km) | Δ<br>(g/km) | Position<br>2016 |
|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------|------------------|
| 1 Toyota         | 101.2                                 | 103.9                                 | -2.7        | 3                |
| 2 Peugeot        | 104.5                                 | 101.8                                 | +2.7        | 1                |
| 3 Citroen        | 105.5                                 | 103.3                                 | +2.2        | 2                |
| 4 Renault        | 106.6                                 | 105.5                                 | +1.0        | 4                |
| 5 Suzuki         | 114.9                                 | 118.7                                 | -3.8        | -                |
| 6 Fiat           | 115.6                                 | 116.0                                 | -0.4        | 8                |
| 7 Nissan         | 115.9                                 | 114.9                                 | +0.9        | 6                |
| 8 Skoda          | 115.9                                 | 111.8                                 | +4.1        | 5                |
| 9 Dacia          | 116.9                                 | 117.6                                 | -0.7        | 10               |
| 10 Seat          | 118.1                                 | 115.8                                 | +2.3        | 7                |
| 11 Volkswagen    | 119.6                                 | 117.6                                 | +1.9        | 11               |
| 12 Kia           | 120.0                                 | 124.6                                 | -4.5        | 16               |
| 13 Ford          | 120.8                                 | 120.1                                 | +0.7        | 12               |
| 14 BMW           | 121.8                                 | 123.1                                 | -1.3        | 15               |
| 15 Hyundai       | 122.0                                 | 124.8                                 | -2.8        | 18               |
| 16 Opel/Vauxhall | 123.4                                 | 122.4                                 | +1.0        | 14               |
| 17 Audi          | 124.3                                 | 124.7                                 | -0.4        | 17               |
| 18 Volvo         | 124.3                                 | 121.6                                 | +2.7        | 13               |
| 19 Mercedes      | 129.1                                 | 127.5                                 | +1.6        | 19               |
| 20 Mazda         | 131.2                                 | 127.7                                 | +3.5        | 20               |

Obr. 14 – Porovnání emisí CO<sub>2</sub> u jednotlivých automobilek mezi roky 2016 – 2017 [11]

## 5.2 Sportovní hybridní automobily

Jsou to automobily, které se prodávají ve větších sériích a jejich poměr výkonu a hmotnosti je menší než u supersportovních. Najdeme zde již všechny kategorie hybridu: micro, mild, full i plug-in hybrid. Kromě micro hybridu (Audi R8), které má stejný systém start-stop jako obyčejná koncernová auta, je každý z automobilů specifický svým hybridním systémem.

Jako příklady sportovních hybridních vozidel jsem vybral tyto modely:

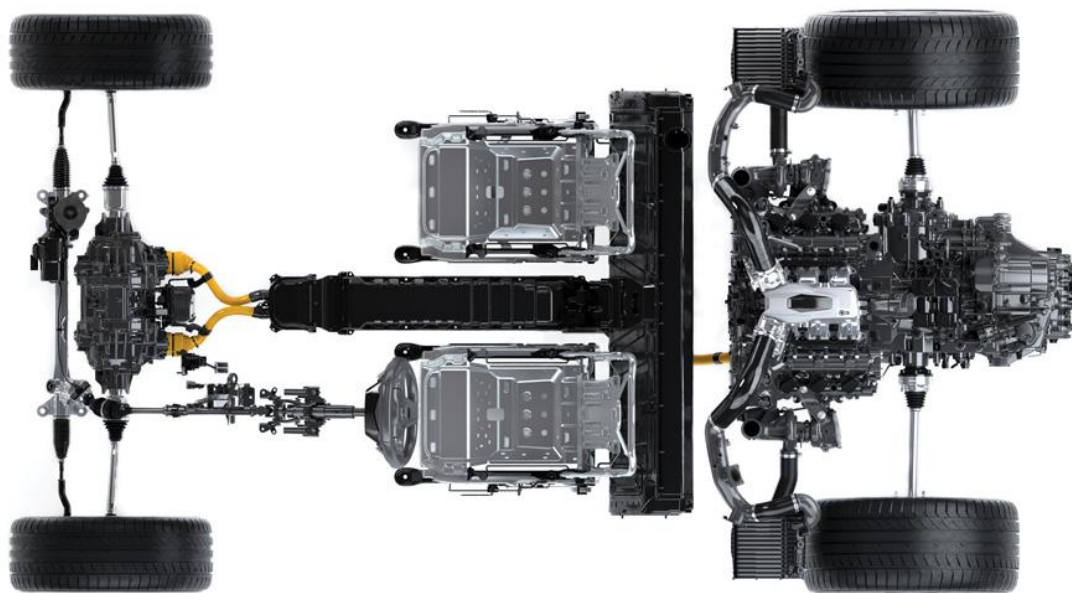
1. Honda NSX
2. Lexus LC 500h
3. Porsche Panamera Turbo S E-Hybrid
4. BMW i8



### 5.2.1 Honda NSX (Acura NSX)

Jedná se o nástupce legendární Hondy NSX z roku 1991, která byla známá svojí vyvážeností a dokonalou sportovní jízdou. První model poháněl zážehový motor V6 o objemu 3,2l, který měl 206kW a manuální převodovku. [12,13]

Honda chtěla navázat na tradice, co se zážitku z jízdy týče, a dosadit moderní hybridní technologii. Podle mnohých novinářů je to jedno z nejlepších hybridních sportovních aut této doby. Na prvním místě se musí vyzvednout pohonný systém, který je velmi sofistikovaný. I přes downsizing si NSX zachovalo motor V6 o objemu 3,5l, který je ovšem podpořený dvěma turbodmychadly, produkuje 373 kW v rozmezí 6500-7500 r/min, 550 Nm a je umístěný před zadní nápravou. Zajímavostí je, že válce do V jsou pod nezvyklým úhlem 75°. Motor disponuje mimo jiné proměnným časováním ventilů VTC, suchou klikovou skříní, přímým a nepřímým vstřikováním. Blok, hlava a písty jsou hliníkové, ostatní vnitřnosti z kované oceli, přičemž výfukové ventily jsou plněny sodíkem. Dvě single-scroll turbodmychadla pracují s maximálním plnicím tlakem 1,05 baru. Na zadní nápravě je také umístěn elektromotor, který má 35 kW a 148 Nm v rozmezí 500-2000 r/min, ten pomáhá s akcelerací z nízkých otáček, kde má spalovací motor mezery, a to zejména, než se roztočí turbodmychadla. Celý tento komplex je napojen na devítistupňovou dvouspojkovou převodovku s pádlovým řazením a síla agregátu se přenáší na zadní nápravu přes lamelový samosvor. [12,13,14,15]



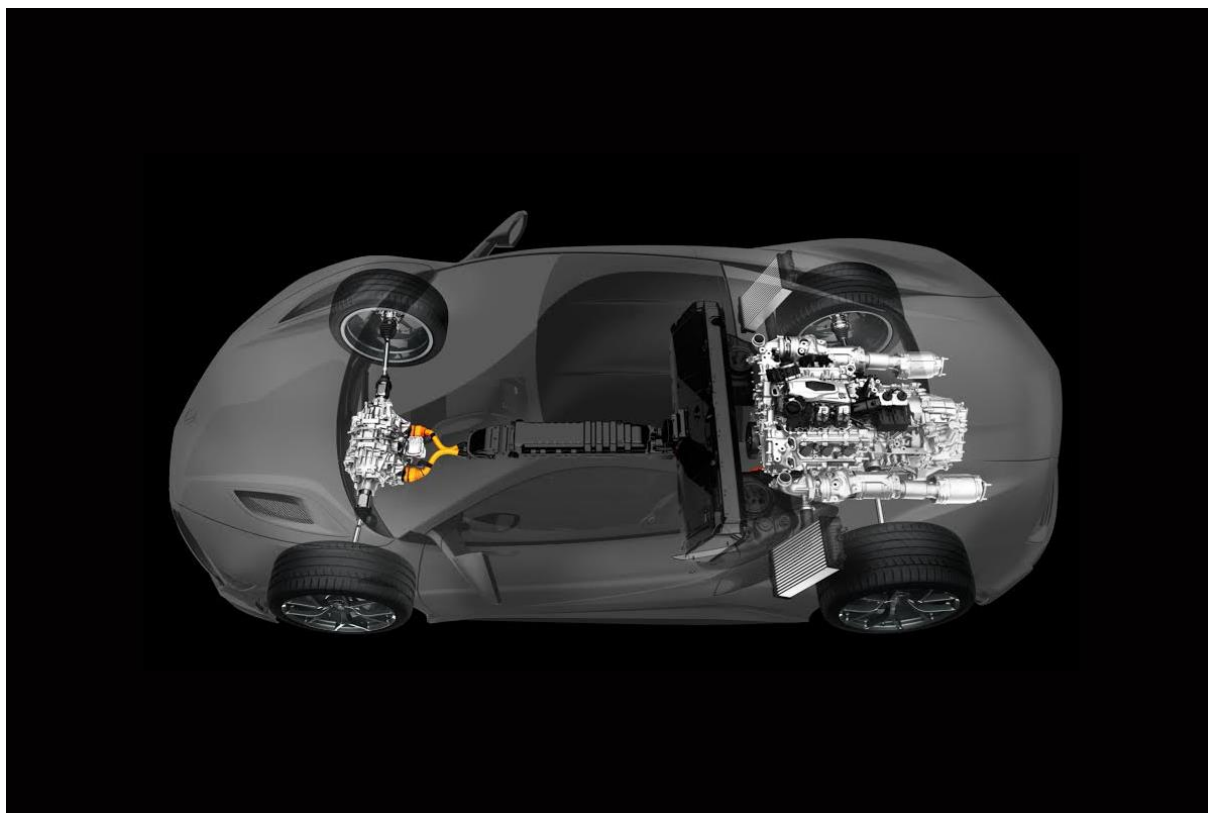
Obr. 15 – Hybridní pohonný systém Hondy NSX [12]

| <b>Druh hybridního pohonu</b>  | <b>Paralelní – plug in hybrid</b> |                     |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| <b>Elektromotor</b>            | Druh                              | Výrobce neudává     |
|                                | Výkon                             | 35+2x27kW           |
|                                | Točivý moment                     | 147+2x73Nm          |
| <b>Spalovací motor</b>         | Druh                              | zážehový            |
|                                | Zdvihový objem                    | 3500cm <sup>3</sup> |
|                                | Počet válců                       | 6                   |
|                                | Plnění                            | Twin-turbo          |
|                                | Výkon                             | 373kW               |
|                                | Točivý moment                     | 550Nm               |
|                                | Emise CO <sub>2</sub>             | 228g/km             |
|                                | Spotřeba paliva na 100km          | 10l                 |
| <b>Celkový maximální výkon</b> |                                   | 427kW               |
| <b>Akumulátor</b>              | Druh                              | Li-Ion              |
|                                | Kapacita                          | Výrobce neuvádí     |
|                                | Dojezd na elektřinu               | Výrobce neuvádí     |
|                                | Dobytí baterií                    | Výrobce neuvádí     |
| <b>Pohonné ústrojí</b>         | Převodovka                        | Automatická         |
|                                | Počet převodových stupňů          | 9                   |
|                                | Hnaná náprava                     | 4x4                 |
| <b>Jízdní parametry</b>        | Maximální rychlost                | 308                 |
|                                | Maximální rychlost na elektřinu   | Výrobce neuvádí     |
|                                | Zrychlení z 0-100 km/h            | 3,1s                |
|                                | Zrychlení z 0-200 km/h            | 11,3s               |
|                                | Poměr výkon : hmotnost            | 0,23 kW/Kg          |
| <b>Celková hmotnost</b>        |                                   | 1850 kg             |
| <b>Cena</b>                    |                                   | 4 900 000 Kč        |

Tab. 1 – Parametry Hondy NSX [12]



Další dva elektromotory jsou na přední nápravě a každý má výkon 27 kW a točivý moment 73 Nm v rozmezí 500-2000 r/min. Ty mají za úkol dobíjet akumulátory při deceleraci, pomáhat s trakcí nebo s vektorováním točivého momentu při průjezdu zatáčkami a pohánějí auto při čistě elektrickém modu. Li-Ion akumulátory jsou umístěny ve středovém tunelu za zadními sedadly. Vůz je postaven kolem extrémně tuhého prostorového rámu tvořeného převážně litým a pěněným hliníkem, karoserie je převážně z hliníkových panelů, některé díly jsou z kompozitu. Hliníkové jsou i přední dvojité lichoběžníkové závěsy, zadní víceprvková náprava i pomocný rám motoru, ale třeba držák víčka palivové nádrže je hořčíkový. I tak se ovšem hmotnost s plnou nádrží pohybuje okolo 1850 kg. To je na sportovní vůz opravdu hodně, a to i přes to, že celkově disponuje výkonem 427 kW, jelikož všechny motory nikdy nemohou produkovat maximální výkon. S cenou začínající na 4 900 000 Kč toto skutečně není auto pro každého a je otázkou, jak se mu v čistě benzínové konkurenci povede. [12,13,14,15]



*Obr. 16 – Uspořádání pohonu Hondy NSX [12]*



*Obr. 17 – Honda NSX [12]*



*Obr. 18 – Honda NSX [12]*

### 5.2.2 Lexus LC 500h

Lexus LC je novým sportovním modelem automobilky, která jinak svoji pozornost zaměřuje na různé modely SUV, luxusní auta a především hybridní technologie. Doposud však nešlo o zábavu, ale o nižší spotřebu, moderní design a maximální možnou míru luxusu. Po supersportu LFA, který měl pod kapotou famózní atmosférický desetiválec je tu nyní LC500 s atmosférickým V8 motorem a LC500h, které má hybridní ústrojí kombinující zážehový V6 motor o objemu 3,5 litru s dvěma elektrickými generátory, které dohromady poskytují výkon 264 kW. [16,17,18,19,20]



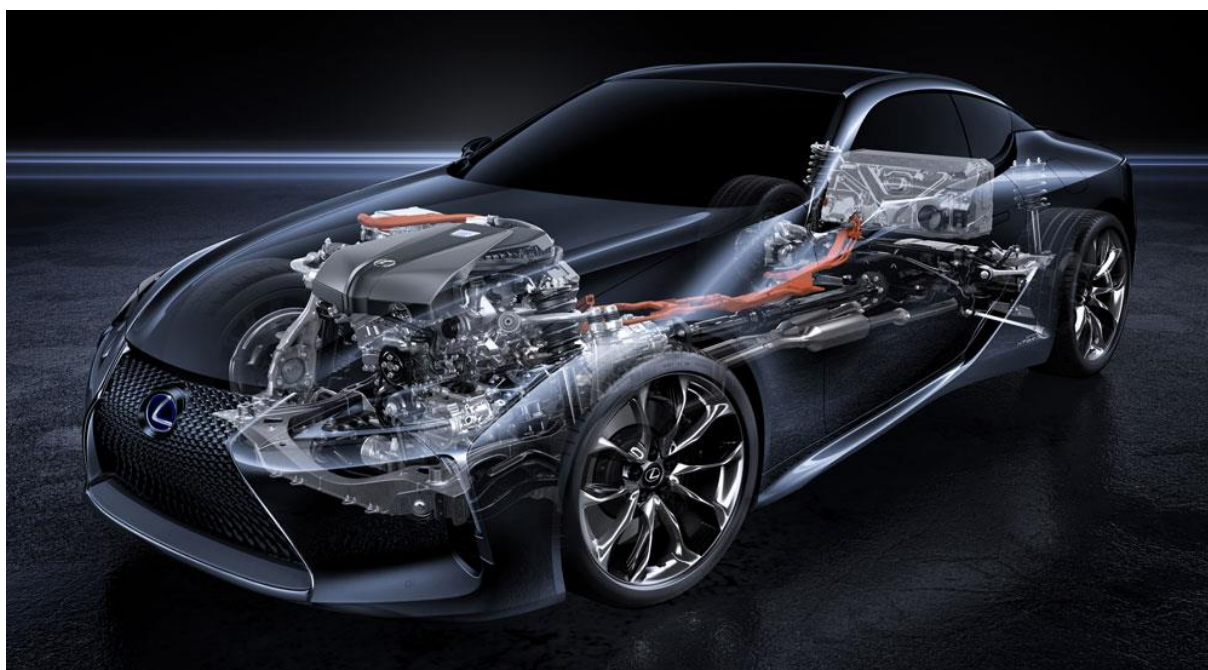
Obr. 19 – Motor Lexus LC 500h [16]

Zajímavostí hybridu je přitom poněkud komplikovaný přenos síly na silnici, protože vůz používá kombinaci planetové převodovky simulující CVT s šesti virtuálními stupni a k tomu ještě čtyřstupňovou automatickou převodovkou. Automobilka řešení připodobňuje k přehazovačkám na jízdních kolech, přičemž má zamezit „vysavačovému“ efektu hybridů a nabídnout větší sepjetí řidiče s autem. V praxi to funguje tak, že CVT simuluje tři různé převodové stupně a samočinná převodovka přidává další tři. Násobkem vychází číslo devět. Poslední desátý mechanický převod funguje v přímém záběru. [16,17,18,19,20]



*Obr. 20 – Převodový systém Lexus LC 500h [16]*

Díky pokročilé elektronice převodovka zvládne jakékoliv přerazení za méně než 100 milisekund a bez jakékoliv prodlevy. Velmi komplexně propojená rychlostní skříň v sobě obsahuje ještě dva elektromotory/generátory, dodávající svůj točivý moment konstantně od nulových otáček. Samozřejmostí je i sada lithium-iontových baterií umístěných v zadní části vozu, umožňujících krátkodobě i pohyb čistě na elektrickou energii. [16,17,18,19,20]



*Obr. 21 – Uspořádání hybridního systému Lexus LC 500h [16]*

| <b>Druh hybridního pohonu</b>  | <b>Paralelní – plug in hybrid</b> |                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Elektromotor</b>            | Druh                              | Synchronní s permanentním magnetem |
|                                | Výkon                             | 132kW                              |
|                                | Točivý moment                     | 300Nm                              |
| <b>Spalovací motor</b>         | Druh                              | Zážehový                           |
|                                | Zdvihový objem                    | 3 456cm <sup>3</sup>               |
|                                | Počet válců                       | 6                                  |
|                                | Plnění                            | Atmosférické                       |
|                                | Výkon                             | 220kW                              |
|                                | Točivý moment                     | 348Nm                              |
|                                | Emise CO <sub>2</sub>             | 145g/km                            |
|                                | Spotřeba paliva na 100km          | 6,4l                               |
| <b>Celkový maximální výkon</b> |                                   | 264 kW                             |
| <b>Akumulátor</b>              | Druh                              | Li-Ion                             |
|                                | Kapacita                          | Výrobce neuvádí                    |
|                                | Dojezd na elektřinu               | 10km                               |
|                                | Dobytí baterií                    | Výrobce neuvádí                    |
| <b>Pohonné ústrojí</b>         | Převodovka                        | CVT + Automatická                  |
|                                | Počet převodových stupňů          | 6+4                                |
|                                | Hnaná náprava                     | Zadní                              |
| <b>Jízdní parametry</b>        | Maximální rychlost                | 250km/h                            |
|                                | Maximální rychlost na elektřinu   | 140km/h                            |
|                                | Zrychlení z 0-100 km/h            | 5,0s                               |
|                                | Zrychlení z 0-200 km/h            | 20s                                |
|                                | Poměr výkon : hmotnost            | 0,13 kW/Kg                         |
| <b>Celková hmotnost</b>        |                                   | 2 020kg                            |
| <b>Cena</b>                    |                                   | 2 790 000 Kč                       |

Tab. 2 – Parametry Lexus LC 500h [16]

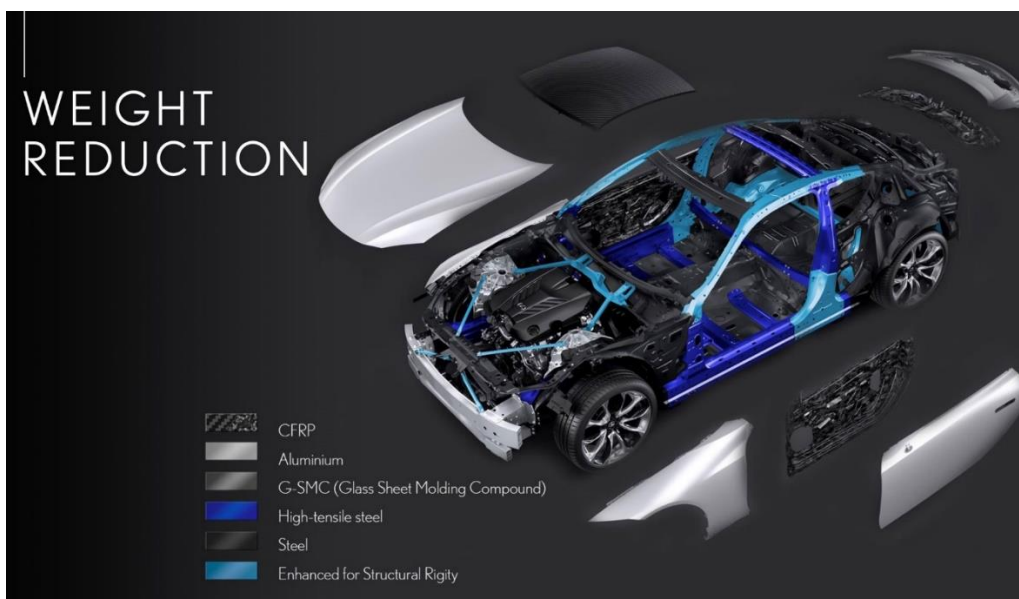




Obr. 22 – Lexus LC 500h [16]



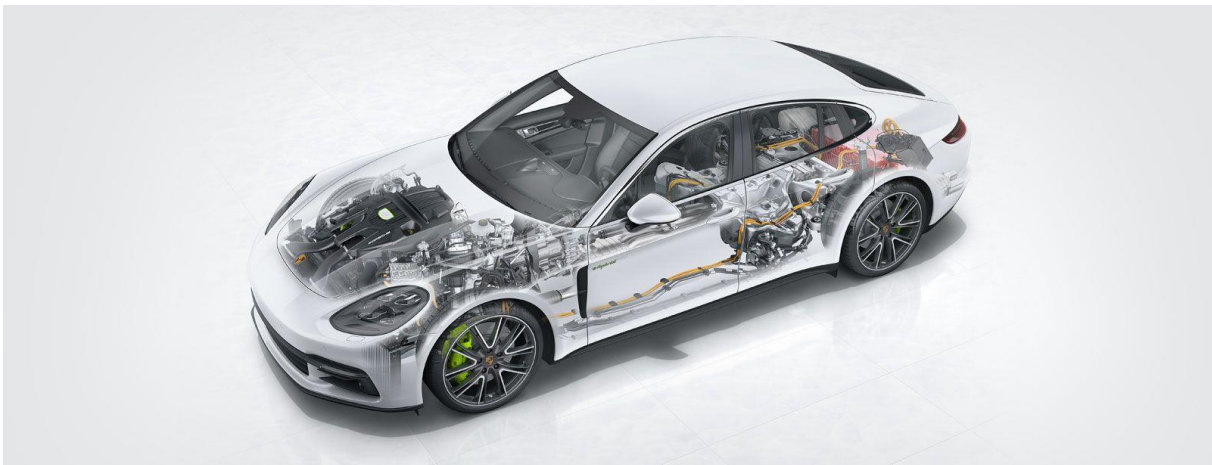
Obr. 23 – Lexus LC 500h [16]



Obr. 24 - Použití materiálu Lexus LC 500h [16]

### 5.2.3 Porsche Panamera

Porsche v nové modelové řadě představilo dvě hybridní pohonné jednotky. První a slabší je Panamera 4 E-Hybrid a vrcholnou verzí je Panamera Turbo S E-Hybrid. Pokud nepočítáme hypersport Porsche 918 Spyder, je aktuálně nejvýkonnějším modelem v nabídce značky Porsche Porsche Panamera Turbo S E-Hybrid. Celkový výkon hybridní soustavy nejsilnějšího produkčního Porsche dosahuje hodnoty 500 kW. Z 0 na 100 km/h akceleruje za 3,4 sekundy a rozjede se až na 310 km/h. Udávaná kombinovaná spotřeba paliva 2,9 litru na 100 km je také pozoruhodná. Je ovšem otázkou, jestli je v reálném provozu dosažitelná. Na elektrinu ujede tato Panamera až 50 km. Jako základní zdroj hnací síly používá Porsche Panamera Turbo S E-Hybrid přeplňovaný osmiválec o výkonu 404 kW. K němu je připojen elektromotor o výkonu 100 kW a osmistupňová dvouspojková převodovka. Panamera Turbo S E-Hybrid dostala ještě poměrně velký Li-Ion akumulátor o kapacitě 14,1 kWh. Z běžných 220 V domácích zásuvek se podle automobilky nabije za šest hodin. Výkonnější příplatková nabíječka zrychlí nabíjení na asi dvě hodiny. [21, 22]



Obr. 25 – Hybridní pohonný systém Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21]

Srovnání základních parametrů nejsilnějšího benzínového modelu Panamera Turbo a hybridních modelů:



|                                | PDK          | PDK          | PDK                |
|--------------------------------|--------------|--------------|--------------------|
| Power (kW)                     | 500 kW       | 340 kW       | 404 kW             |
| Power (hp)                     | 680 PS       | 462 PS       | 550 PS             |
| Acceleration from 0 - 100 km/h | 3.4 s        | 4.6 s        | 3.8 s              |
| Top speed                      | 310 km/h     | 278 km/h     | 306 km/h           |
| Fuel consumption* combined     | 2.9 l/100 km | 2.5 l/100 km | 9.3 - 9.4 l/100 km |
| CO2 emissions* combined        | 66 g/km      | 56 g/km      | 212 - 214 g/km     |

Obr. 26 – Porovnání hybridních a nejsilnějšího zážehového modelu [21]

Z tabulky je jasné, že hlavní rozdíl je ve spotřebě a v emisích CO<sub>2</sub>, ve kterých čistě benzínová verze limity překračuje bezmála dvakrát na rozdíl od hybridů, které splňují plánované podmínky i pro rok 2021.



Obr. 27 – Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21]



| <b>Druh hybridního pohonu</b>  | <b>Paralelní - plug-in hybrid</b> |                      |
|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------|
| <b>Elektromotor</b>            | Druh                              | Střídavý             |
|                                | Výkon                             | 100kW                |
|                                | Točivý moment                     | 400Nm                |
| <b>Spalovací motor</b>         | Druh                              | Zážehový             |
|                                | Zdvihový objem                    | 3996 cm <sup>3</sup> |
|                                | Počet válců                       | 8                    |
|                                | Plnění                            | Bi-Turbo             |
|                                | Výkon                             | 404kW                |
|                                | Točivý moment                     | 770Nm                |
|                                | Emise CO <sub>2</sub>             | 66g/km               |
|                                | Spotřeba paliva na 100km          | 2,9l                 |
| <b>Celkový maximální výkon</b> |                                   | 500kW                |
| <b>Akumulátor</b>              | Druh                              | Li-Ion               |
|                                | Kapacita                          | 14,1kWh              |
|                                | Dojezd na elektřinu               | 50km                 |
|                                | Dobytí baterií                    | 6h/2h(supercharge)   |
| <b>Pohonné ústrojí</b>         | Převodovka                        | Dvouspojková         |
|                                | Počet převodových stupňů          | 8                    |
|                                | Hnaná náprava                     | 4x4                  |
| <b>Jízdní parametry</b>        | Maximální rychlost                | 310km/h              |
|                                | Maximální rychlost na elektřinu   | 140km/h              |
|                                | Zrychlení z 0-100 km/h            | 3,7s                 |
|                                | Zrychlení z 0-200 km/h            | 12s                  |
|                                | Poměr výkon : hmotnost            | 0,21kW/Kg            |
| <b>Celková hmotnost</b>        |                                   | 2 400kg              |
| <b>Cena</b>                    |                                   | 5 200 000 Kč         |

Tab. 3 – Parametry Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21, 22, 23]



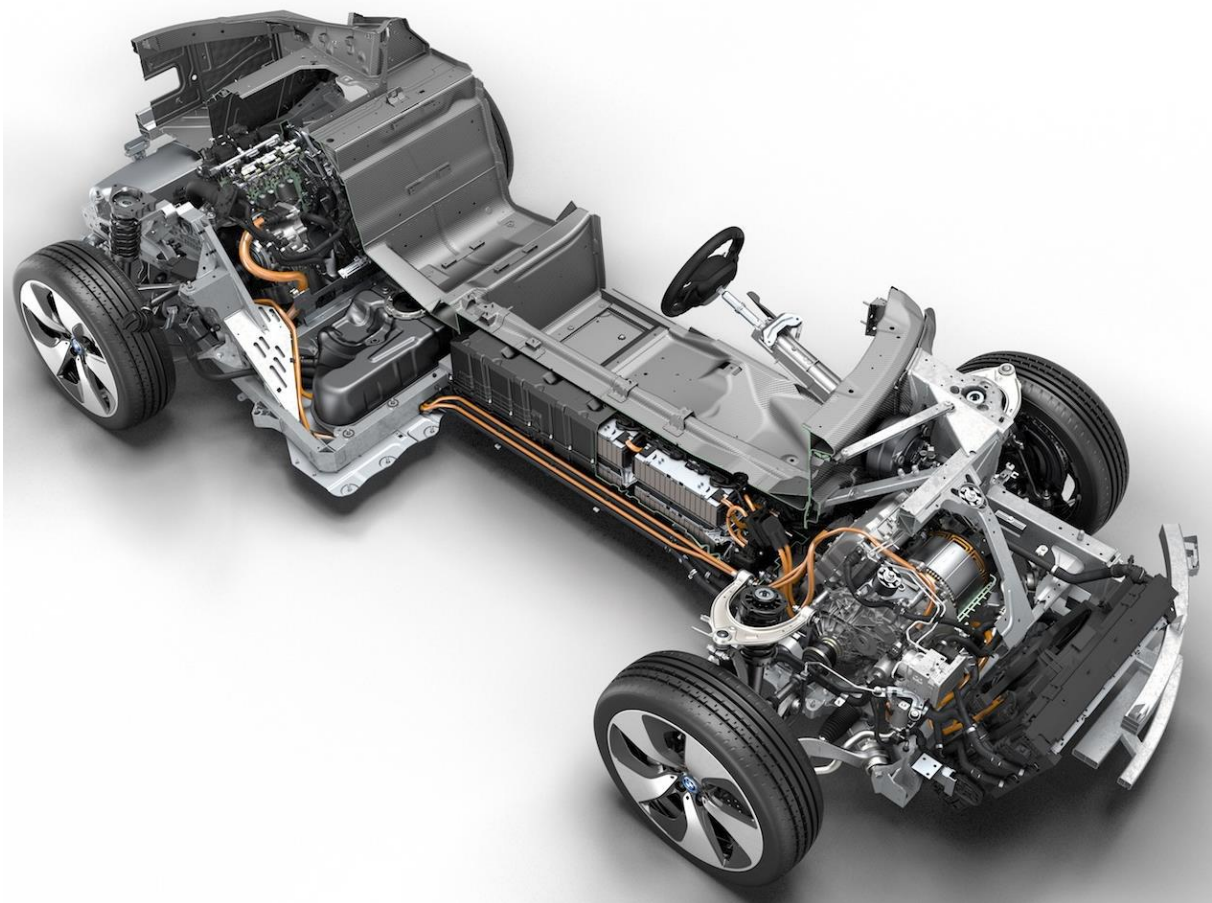
*Obr. 28 – Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21]*



*Obr. 29 – Detail pneumatiky a brzd Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21]*

#### 5.2.4 BMW i8

Jedná se o dvoudveřové kupé, které se vyrábí už od roku 2014. Dnešní verze prodělala menší změny, které se dotkly hlavně podvozku a elektromotoru, který posílil o 9kW a auto se také vyrábí ve verzi roadster. Jednalo se o jeden z prvních sportovních hybridů a dodnes zaujme svým futuristickým vzhledem. Při jeho konstrukci se dbalo hlavně na to, aby auto bylo co nejlehčí a výsledná hmotnost 1500 kg je nejlepší v kategorii sportovních hybridů. Důvodem je malý spalovací motor, malé akumulátory a využití kompozitu a hliníku v karoserii. Rozložení hmotnosti je 49%/51% mezi přední a zadní nápravou. Dominantou tohoto vozu je jeho vzhled, který se údajně inspiroval z kapky vody a slibuje součinitel odporu vzduchu 0,26. Pohonný systém je oddělený, vzadu spalovací motor a vpředu elektromotor, které dohromady produkují 275kW. Tato konstrukce umožnila absenci kardanové hřídele, a tak ve středovém tunelu zbylo místo na akumulátory a umožnila tak dostat těžiště co nejnižše. [24, 25]



Obr. 30 – Řez pohonným systémem BMW i8 [24]

| <b>Druh hybridního pohonu</b>  | <b>Paralelní – plug in hybrid</b> |                                       |
|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Elektromotor</b>            | Druh                              | Výrobce neudává                       |
|                                | Výkon                             | 105kW                                 |
|                                | Točivý moment                     | 250Nm                                 |
| <b>Spalovací motor</b>         | Druh                              | Zážehový                              |
|                                | Zdvihový objem                    | 1500cm <sup>3</sup>                   |
|                                | Počet válců                       | 3                                     |
|                                | Plnění                            | Turbo                                 |
|                                | Výkon                             | 170 kW                                |
|                                | Točivý moment                     | 320 Nm                                |
|                                | Emise CO <sub>2</sub>             | 42 g/km                               |
|                                | Spotřeba paliva na 100km          | 1,9 l                                 |
| <b>Celkový maximální výkon</b> |                                   | 275kW                                 |
| <b>Akumulátor</b>              | Druh                              | Li-Ion                                |
|                                | Kapacita                          | 7,1kW                                 |
|                                | Dojezd na elektřinu               | 30 Km                                 |
|                                | Dobyčí baterií                    | 2 h                                   |
| <b>Pohonné ústrojí</b>         | Převodovka                        | Automatická                           |
|                                | Počet převodových stupňů          | 6 spalovací motor +<br>2 elektromotor |
|                                | Hnaná náprava                     | 4x4                                   |
| <b>Jízdní parametry</b>        | Maximální rychlost                | 250 km/h                              |
|                                | Maximální rychlost na elektřinu   | 120 km/h                              |
|                                | Zrychlení z 0-100 km/h            | 4,4 s                                 |
|                                | Zrychlení z 0-200 km/h            | 14,4 s                                |
|                                | Poměr výkon : hmotnost            | 0,18kW/kg                             |
| <b>Celková hmotnost</b>        |                                   | 1490 kg                               |
| <b>Cena</b>                    |                                   | 3 600 000 Kč                          |

Tab. 4 – Parametry BMW i8 [24]





*Obr. 31 – BMW i8 roadster [26]*



*Obr. 32 – BMW i8 roadster [26]*

### 5.3 Supersportovní hybridní vozy

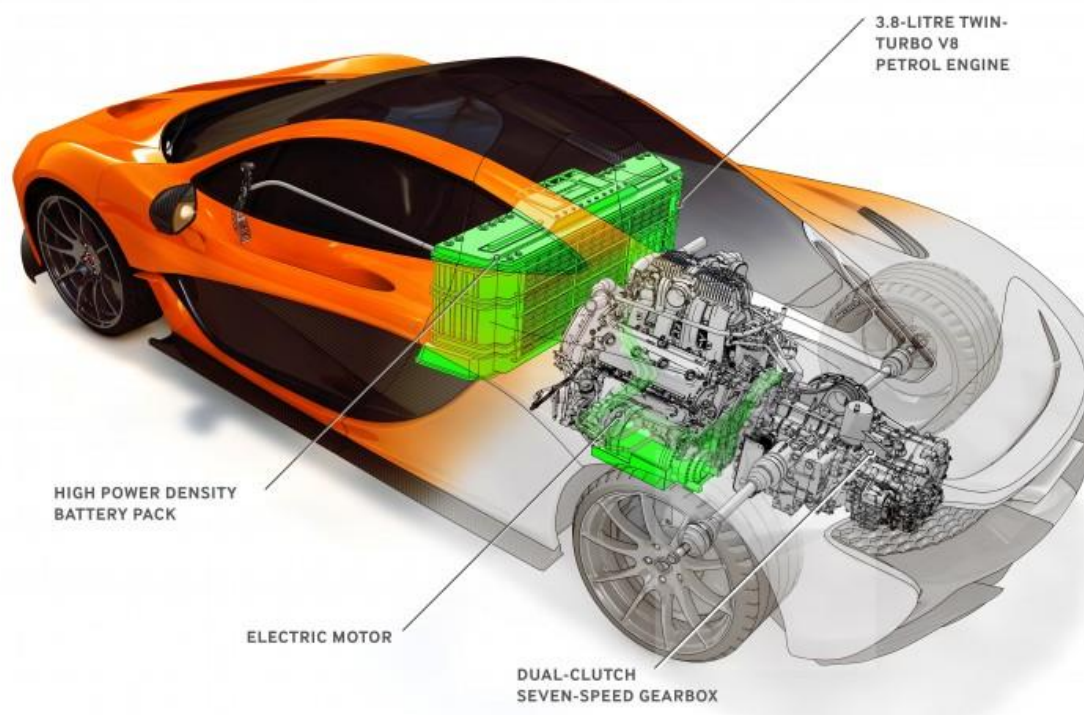
Jedná se o vozy, které jsou výkonově na vrcholu možností dnešní technologie. Až na Mercedes One se jedná se o vozy, které vznikly v roce 2014, ale doposud jsou vrcholným modelem dané značky. Jediná změna proběhla u automobilky Ferrari, která v roce 2017 představila LaFerrari Aperta, které se liší pouze karoserií. Tímto označením se zdůrazňuje možnost stažení střechy. Všechny vozy byly v omezených sériích (do 1000 kusů) a s cenou v rozmezí 20-70 milionů Kč.

Jedná se o vozy:

1. Mc Laren P1
2. Ferrari LaFerrari
3. Porsche 918 Spyder
4. Mercedes One

### 5.3.1 Mc Laren P1

McLaren tvrdí, že jeho model P1 má být jednoduše tím nejlepším řídičským zážitkem na silnici i na okruhu. Jeho technika je inspirována formulí 1. Byl prvním supersportovním vozem vůbec. V McLarenu se rozhodli hybridní pohonné ústrojí využít maximálně ku prospěchu dynamiky auta. Tím se P1 zásadně liší od všech běžných hybridů. Pohonná jednotka P1 se skládá z přepracovaného dvakrát přeplňovaného osmiválce známého z modelu MP4-12C a výkonného elektromotoru. Zvláštností sestavy je například fakt, že blok motoru byl upraven tak, aby mohl být elektromotor prakticky co nejvíce zabudován do něj. Teprve za elektromotorem se nachází dvouspojková sedmistupňová převodovka, která přenáší výkon spojeného pohonného ústrojí na zadní kola. Toto uspořádání umožňuje přinést funkci, kterou McLaren nazývá IPAS – Instant Power Assist System. Je to vlastně způsob, jakým vývojáři sladili spalovací motor s elektromotorem a jakým umožňují řidiči toto spojení využít. Elektromotor dokáže například urychlit celý proces řazení vyšší rychlosti. Při přerazení vzhůru totiž musí převodovka v podstatě chvíli čekat, než klesnou otáčky motoru na požadovanou hodnotu a pak teprve může plně sepnout druhou spojku a rozepnout tu první. Elektromotor je v tu chvíli schopen zbrzdit spalovací motor na požadované otáčky, čímž celý proces už tak bleskurychlého řazení dvouspojkové převodovky ještě urychluje. [27,28]



Obr. 33 – Hybridní pohonný systém McLaren P1[29]

| <b>Druh hybridního pohonu</b>  | <b>Paralelní – Plug-in hybrid</b> |                          |
|--------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| <b>Elektromotor</b>            | Druh                              | Výrobce neudává          |
|                                | Výkon                             | 130 kW                   |
|                                | Točivý moment                     | 130 Nm                   |
| <b>Spalovací motor</b>         | Druh                              | Zážehový                 |
|                                | Zdvihový objem                    | 3800cm <sup>3</sup>      |
|                                | Počet válců                       | 8                        |
|                                | Plnění                            | Bi-turbo                 |
|                                | Výkon                             | 542 kW                   |
|                                | Točivý moment                     | 719 Nm                   |
|                                | Emise CO <sub>2</sub>             | 194 g/km                 |
|                                | Spotřeba paliva na 100km          | 8,3l                     |
| <b>Celkový maximální výkon</b> |                                   | 674 kW                   |
| <b>Akumulátor</b>              | Druh                              | Li-Ion                   |
|                                | Kapacita                          | Výrobce neudává          |
|                                | Dojezd na elektřinu               | 10 km                    |
|                                | Dobytí baterií                    | 2h/ 11 min (supercharge) |
| <b>Pohonné ústrojí</b>         | Převodovka                        | Dvouspojková             |
|                                | Počet převodových stupňů          | 7                        |
|                                | Hnaná náprava                     | Zadní                    |
| <b>Jízdní parametry</b>        | Maximální rychlost                | 350 km/h                 |
|                                | Maximální rychlost na elektřinu   | 160 km/h                 |
|                                | Zrychlení z 0-100 km/h            | 2,8 s                    |
|                                | Zrychlení z 0-200 km/h            | 6,9 s                    |
|                                | Poměr výkon : hmotnost            | 0,48 kW/kg               |
| <b>Celková hmotnost</b>        |                                   | 1395 kg                  |
| <b>Cena</b>                    |                                   | 28 000 000 Kč            |

Tab. 5 – Parametry McLaren P1[26]





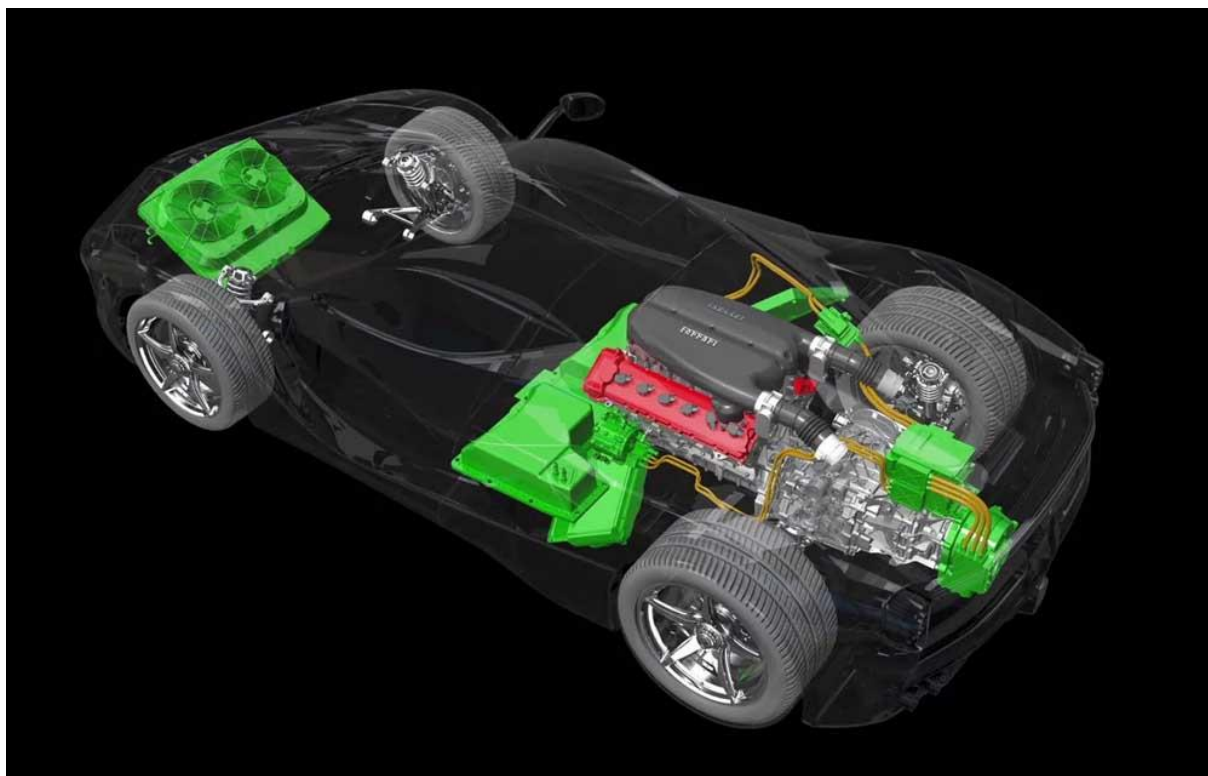
*Obr. 34 – McLaren P1 [29]*



*Obr. 35 – McLaren P1[29]*

### 5.3.2 Ferrari La Ferrari

Jde o první model značky s hybridním pohonem. Auto využívá KERS systém, který byl používán u formule 1. Jedná se o mild hybrid, a proto jízda čistě na elektřinu není možná. Ferrari se také vůbec nesnažilo o minimalizaci spotřeby, elektromotor je zde pouze kvůli vyplnění výkonové mezery V12 motoru v nízkých otáčkách. Proto mohlo Ferrari použít velmi malé Li-Ion akumulátory, které váží jen 60 kg. Celý hybridní systém potom váží 140 Kg. Elektromotory má Ferrari dva. K pohonu slouží jen ten hlavní s výkonem 120 kW, který je s motorem spřažen paralelně a přes sedmistupňovou dvouspojkovou převodovku přenáší výkon na zadní kola. Druhý elektromotor je se spalovacím motorem spojen odděleně, má výkon 6 kW a jeho primární starostí je udržovat množství energie uložené v bateriích na, pokud možno, konstantní úrovni. Elektromotor také slouží k výrobě elektrické energie pro pohon dalších palubních systémů (osvětlení, klimatizace). V zatáčkách, které nejsou projížďeny pod plynem, udržuje elektromotor hlavní pohonnou jednotku v otáčkách, aby byl na výjezdu k dispozici maximální výkon. Vyrobeno bylo jen v omezené sérii 499 kusů. V roce 2017 byla představena ještě verze bez střechy La Ferrari Aperta v počtu 209 kusů. Technické parametry pohonné jednotky auta ovšem zůstaly v podstatě stejné, byla změněna akorát karoserie. [30, 31, 32]



Obr. 36 – Hybridní systém Ferrari La Ferrari [33]

| <b>Druh hybridního pohonu</b>  | <b>Paralelní – mild hybrid</b>  |                      |
|--------------------------------|---------------------------------|----------------------|
| <b>Elektromotor</b>            | Druh                            | Stejnoseměrný        |
|                                | Výkon                           | 120kW                |
|                                | Točivý moment                   | 200 Nm               |
| <b>Spalovací motor</b>         | Druh                            | Zážehový             |
|                                | Zdvihový objem                  | 6262 cm <sup>3</sup> |
|                                | Počet válců                     | 12                   |
|                                | Plnění                          | Atmosférické         |
|                                | Výkon                           | 588 kW               |
|                                | Točivý moment                   | 700 Nm               |
|                                | Emise CO <sub>2</sub>           | 330 g/km             |
|                                | Spotřeba paliva na 100km        | 14 l                 |
| <b>Celkový maximální výkon</b> |                                 | 708kW                |
| <b>Akumulátor</b>              | Druh                            | Li-Ion               |
|                                | Kapacita                        | 8 kWh                |
|                                | Dojezd na elektřinu             | Nelze                |
|                                | Dobytí baterií                  | Rekuperací           |
| <b>Pohonné ústrojí</b>         | Převodovka                      | Dvouspojková         |
|                                | Počet převodových stupňů        | 7                    |
|                                | Hnaná náprava                   | Zadní                |
| <b>Jízdní parametry</b>        | Maximální rychlost              | 350 km/h             |
|                                | Maximální rychlost na elektřinu | Nelze                |
|                                | Zrychlení z 0-100 km/h          | 2,9 s                |
|                                | Zrychlení z 0-200 km/h          | 6,8 s                |
|                                | Poměr výkon : hmotnost          | 0,054 kW/kg          |
| <b>Celková hmotnost</b>        |                                 | 1255 kg              |
| <b>Cena</b>                    |                                 | 40 000 000 Kč        |

Tab. 6 – Parametry Ferrari La Ferrari [31]





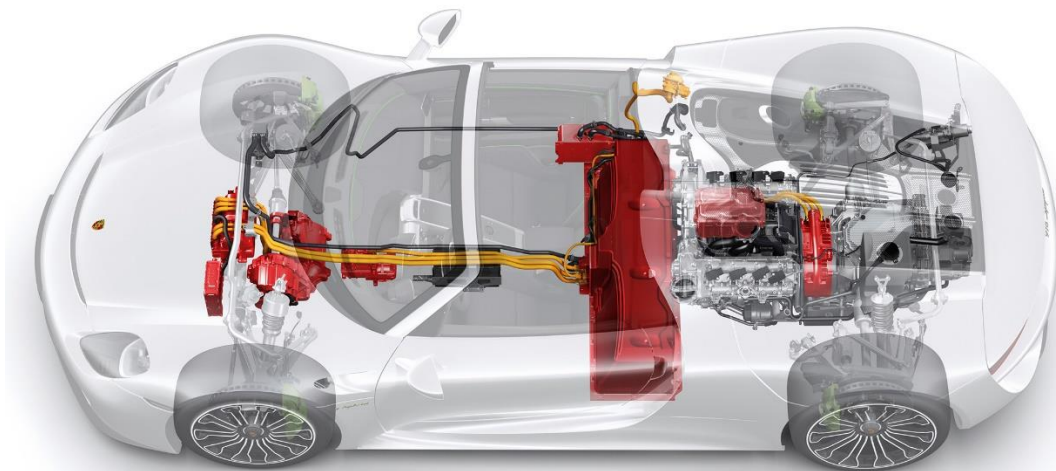
*Obr. 37 – Ferrari La Ferrari Aperta [34]*



*Obr. 38 – Ferrari La Ferrari Aperta[34]*

### 5.3.3 Porsche 918 Spyder

Porsche tento model stavělo jako supersport do každodenního provozu a opírá se o udávanou spotřebu paliva 3 l na 100 km. Stejně jako u ostatních vozů je toto číslo v reálném provozu v podstatě nedosažitelné. Jde o plug-in hybrid, přičemž hnací ústrojí kombinuje dohromady hned trojici motorů. Základem se stal benzinový osmiválec uložený před zadní nápravou. Jeho objem činí 4,6 litru, maximální výkon dosahuje na 608 koní. Spalovací motor pohání přes sedmistupňovou převodovku zadní nápravu. Na pomoc ale dostal ještě 115 kW elektromotor. Jde o paralelní zapojení, takže vůz může jet s čistě elektrickým pohonem, pouze s využitím osmiválce nebo v hybridním režimu tak, jak to známe z jiných hybridů. Druhý elektromotor (95 kW) nezávisle pohání přední nápravu. Jako jediný ze supersportovních hybridů má Porsche pohon 4x4. Celkový výkon dosahuje na 886 koní a z 0 na 100 zrychlí za 2,8 s. Řidič má k dispozici několik jízdních režimů, které mění nastavení hybridního systému. Celkově bylo vyrobeno 918 vozů. [35, 36]



Obr. 39 – Hybridní systém Porsche 918 Spyder[37]

| <b>Druh hybridního pohonu</b>  | <b>Paralelní – Plug-in hybrid</b> |                                    |
|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <b>Elektromotor</b>            | Druh                              | Synchronní s permanentními magnety |
|                                | Výkon                             | Zadní 115 kW, přední 95kW          |
|                                | Točivý moment                     | Zadní 375 Nm, přední 230 Nm        |
| <b>Spalovací motor</b>         | Druh                              | Zážehový                           |
|                                | Zdvihový objem                    | 4593 cm <sup>3</sup>               |
|                                | Počet válců                       | 8                                  |
|                                | Plnění                            | Atmosferické                       |
|                                | Výkon                             | 447 kW                             |
|                                | Točivý moment                     | 520 Nm                             |
|                                | Emise CO <sub>2</sub>             | 72 g/km                            |
|                                | Spotřeba paliva na 100km          | 3,1 l                              |
| <b>Celkový maximální výkon</b> |                                   | 652 kW                             |
| <b>Akumulátor</b>              | Druh                              | Li-Ion                             |
|                                | Kapacita                          | 6,8 kWh                            |
|                                | Dojezd na elektřinu               | 25 km                              |
|                                | Dobytí baterií                    | 25 min (Porsche speed charge)      |
| <b>Pohonné ústrojí</b>         | Převodovka                        | Dvouspojková                       |
|                                | Počet převodových stupňů          | 7                                  |
|                                | Hnaná náprava                     | 4x4                                |
| <b>Jízdní parametry</b>        | Maximální rychlost                | 345 km/h                           |
|                                | Maximální rychlost na elektřinu   | 150 km/h                           |
|                                | Zrychlení z 0-100 km/h            | 2,8 s                              |
|                                | Zrychlení z 0-200 km/h            | 7,4 s                              |
|                                | Poměr výkon : hmotnost            | 0,39 kW/kg                         |
| <b>Celková hmotnost</b>        |                                   | 1675 kg                            |
| <b>Cena</b>                    |                                   | 19 000 000 Kč                      |

Tab. 7 – Parametry Porsche 918 Spyder[35]





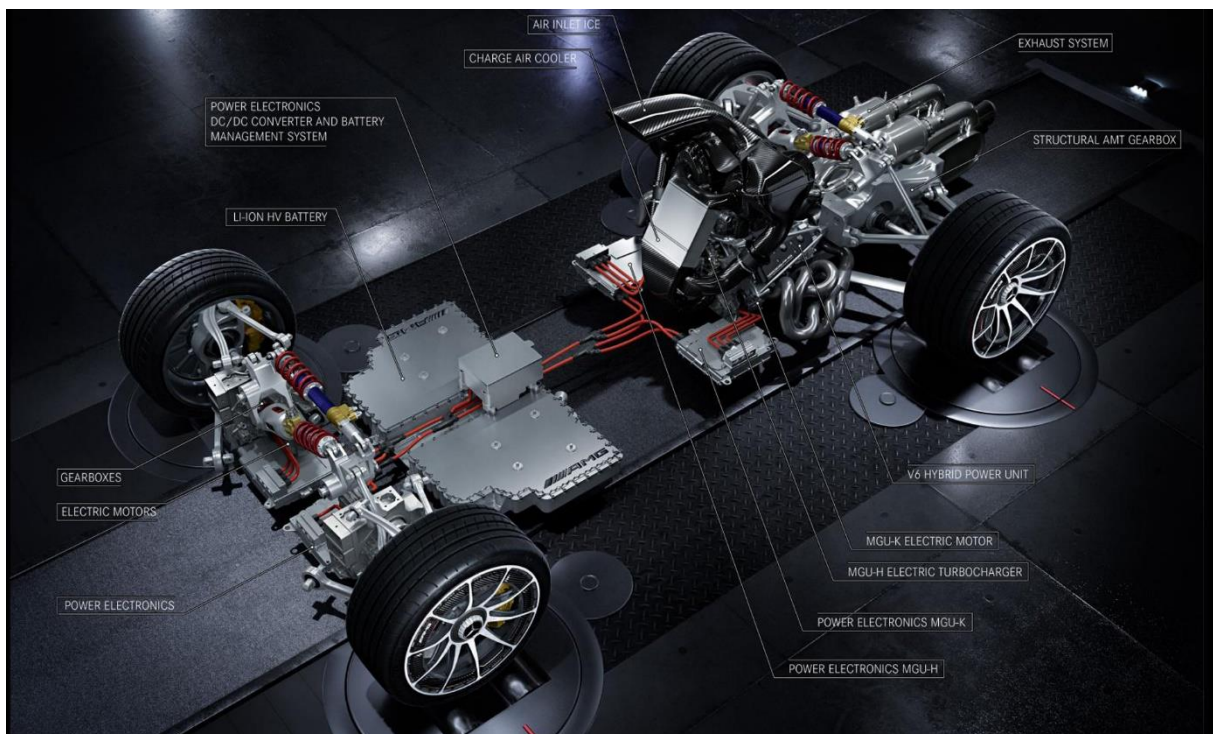
*Obr. 40 – Porsche 918 Spyder[38]*



*Obr. 41 – Porsche 918 Spyder[38]*

### 5.3.4 Mercedes-AMG Project ONE

Jedná se o první plug-in hybrid, který má stejný pohonný systém jako formule 1 a není určený pouze pro okruh. Před zadní nápravou je umístěn V6 motor o objemu 1,6l a o výkonu 500 kW se stejnou stavbou jako mají dnešní formule 1. Omezovač otáček je nastavený na 11 000 r/min. To je o 4 000 méně než současné formule. Důvodem je životnost motoru, která musí být vyšší, a palivové nároky. Stejný je i hybridní systém ERS, který se také skládá ze dvou jednotek MGU-K (na hnací hřídeli) a MGU-H (u turbodmychadla). Úkol jednotlivých elektromotorů je pomáhat malému spalovacímu motoru. MGU-K o výkonu 120kW je stejný jako u ostatních mild hybridů. Rekuperuje energii při brždění a ukládá ji do Li-Ion baterií. MGU-H předtočí turbodmychadlo, aby bylo neustále připraveno pomáhat motoru a v momentě, kdy motor již pomáhat nepotřebuje, získává energii ze spalin proudících výfukovým potrubím. Největší rozdíl oproti formuli 1 jsou dva elektromotory na přední nápravě o výkonu 240kW. Zvláštností je, že tyto motory točí 50 000 otáček a pracují s napětím 800 V kvůli snížení hmotnosti s použitím trakčních kabelů. Vyrobeno bude jen 275 kusů a cena jednoho kusu se bude pohybovat okolo 2,7 milionu euro. [40]



Obr. 42 – Hybridní systém Mercedes ONE [40]



| <b>Druh hybridního pohonu</b>  | <b>Paralelní – Plug-in hybrid</b> |                       |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| <b>Elektromotor</b>            | Druh                              | Výrobce neudává       |
|                                | Výkon                             | 2x120kW               |
|                                | Točivý moment                     | Výrobce neudává       |
| <b>Spalovací motor</b>         | Druh                              | Zážehový              |
|                                | Zdvihový objem                    | 1600cm <sup>3</sup>   |
|                                | Počet válců                       | 6                     |
|                                | Plnění                            | Turbo                 |
|                                | Výkon                             | 500 kW                |
|                                | Točivý moment                     | Výrobce neudává       |
|                                | Emise CO <sub>2</sub>             | Výrobce neudává       |
|                                | Spotřeba paliva na 100km          | Výrobce neudává       |
| <b>Celkový maximální výkon</b> |                                   | >750kW                |
| <b>Akumulátor</b>              | Druh                              | Výrobce neudává       |
|                                | Kapacita                          | Výrobce neudává       |
|                                | Dojezd na elektřinu               | 25 km                 |
|                                | Dobytí baterií                    | Výrobce neudává       |
| <b>Pohonné ústrojí</b>         | Převodovka                        | Automatizovaný manuál |
|                                | Počet převodových stupňů          | 8                     |
|                                | Hnaná náprava                     | 4x4                   |
| <b>Jízdní parametry</b>        | Maximální rychlost                | +350 km/h             |
|                                | Maximální rychlost na elektřinu   | Výrobce neudává       |
|                                | Zrychlení z 0-100 km/h            | <2,8s                 |
|                                | Zrychlení z 0-200 km/h            | < 6s                  |
|                                | Poměr výkon : hmotnost            | 0,83 kW/kg            |
| <b>Celková hmotnost</b>        |                                   | <1200kg               |
| <b>Cena</b>                    |                                   | 70 000 000 Kč         |

Tab. 8 – Parametry Mercedes-AMG Project ONE[40]



*Obr. 43 – Mercedes-AMG Project ONE [41]*



*Obr. 44 – Mercedes-AMG Project ONE [41]*

# 6 Závodní hybridní automobily

## 6.1 Důvody

Důvodů hybridizace závodních vozidel je několik. Pravděpodobně prvotním a nejpodstatnějším důvodem bylo zlepšení akcelerace vozu na výjezdu ze zatáček nebo akcelerace z malé rychlosti, kde má spalovací motor výkonové mezery. Později se jednalo o možnosti pohonu 4x4 bez kardanové hřídele, přičemž byla využita koncepce spalovacího motoru na zadní nápravě a elektromotoru vepředu, který byl samostatnou jednotkou. Je samozřejmostí, že o hybridní technologie roste zájem a zvyšují se nároky, proto je potřeba neustále na závodních automobilech zkoušet nové možnosti hybridního pohonu. S postupem času se ukázalo, že normální motory nemohou hybridům konkurovat, a tak se pro ně musely upravovat pravidla a zpříšňovat podmínky, popřípadě vznikly samostatné kategorie pro takové vozy.

## 6.2 Formule 1

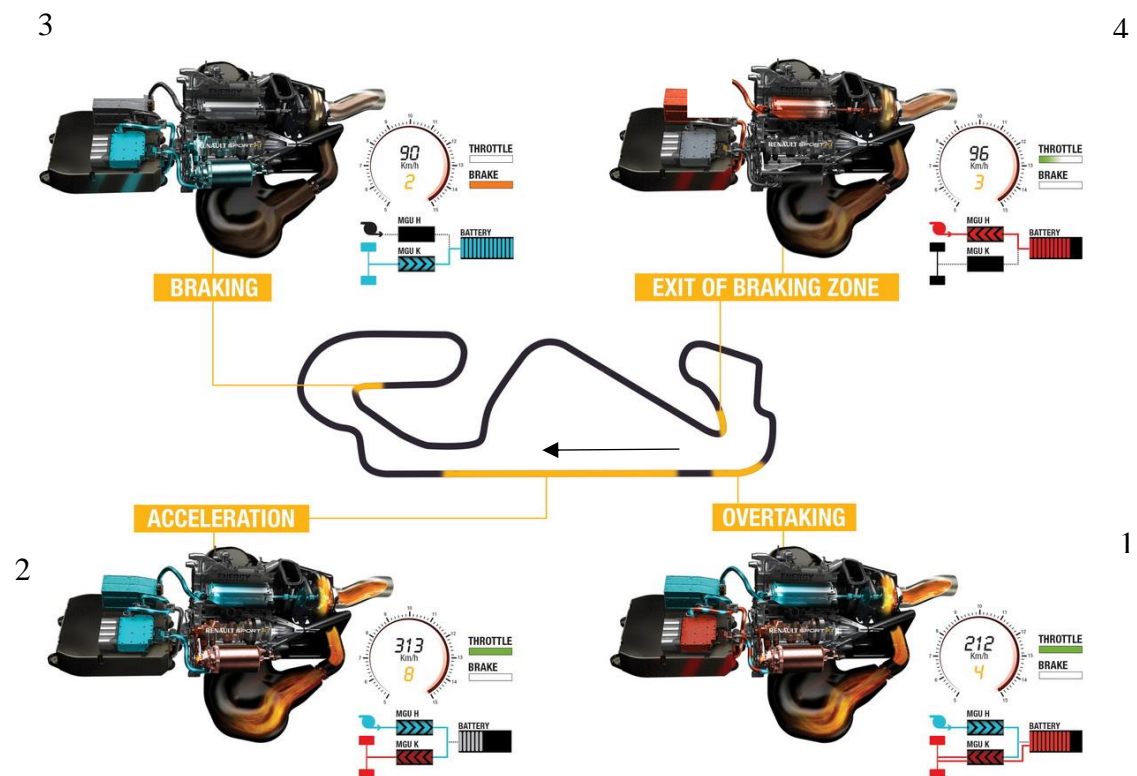
### 6.2.1 Pravidla a jejich důsledky v praxi

Hlavní předpisy pro dnešní motory F1:

1. Spalovací motor musí být o objemu 1,6l s omezovačem otáček na 15 000 rpm.
2. Motor musí být V6 s úhlem 90° se čtyřmi ventily na válec a s jedním turbem.
3. Přísun benzínu do motoru je omezen na 100 kg/h.
4. K pohonu nesmí být použita jiná jednotka než motor a MGU-K.
5. Hmotnost pohonného systému musí být minimálně 145 kg, akumulátory musí být instalovány v kokpitu a jejich hmotnost se musí pohybovat v rozmezí 20–25 kg.
6. Blok motoru musí být vyroben z hliníkových slitin, přičemž kompozitní materiály nejsou dovoleny. Kliková a váčková hřídel musejí být vyrobeny ze železných slitin. Písty jsou vyrobeny z hliníkových slitin a ventily ze slitin kobaltu, železa, niklu, titanu.
7. MGU-H musí být mechanicky připojeno k výfukové turbíně na tlakový nabíjecí systém.
8. MGU-K musí být mechanicky připojeno k pohonné jednotce před hlavní spojkou.
9. Maximum energie, která se smí přesunout z akumulátoru do MGU-K, aby byla použita k pohonu, jsou 4 MJ.

10. Maximální energie, která může být z MGU-K rekuperována do akumulátoru, jsou 2 MJ.
11. Neomezené množství energie za kolo může být rekuperováno do akumulátoru nebo přesunuto přímo do MGU-H, kdy je využito k přímému pohonu formule.
12. MGU-K může být v závodě použito až když formule dosáhne rychlosti 100 km/h.
13. Za jednu sezónu mohou být použity pouze tři motory. [45, 47]

Pravidla týkající se získané energie jsou velice důležitá. Limit množství rekuperované energie na jedno kolo je stanoven na 2MJ pro MGU-K a MGU-H je bez limitu. Existují ovšem tratě, na kterých se ani zmíněných 2MJ z MGU-K nedá dosáhnout (Soči), pro nedostatek brzdných bodů. Je to důvod, proč je jedním z nejpodstatnějších aspektů při závodech využití MGU-H. Celkové množství využití energie na kolo jsou 4MJ, což umožňuje pomocných 160 koní využívat přibližně 33s v jednom kole. Do limitu se ovšem nepočítá energie, která se neukládá v akumulátorech, ale využívá se okamžitě. To způsobuje opět značné taktizování pro každý okruh. Pro rekuperaci energie je důležitý počet brzdných bodů, délka rovinek, charakteristika zatáček a podle toho se odvíjí využívání softwaru CPU, který s energií hospodaří. Do budoucna se předpokládá, že by s energií neměl hospodařit procesor, a naopak jako u systému KERS bude snaha, aby s energií nakládal sám jezdec, jak uzná za vhodné. Očekává se tak ztraktivnění závodu. Piloti mají i nyní k dispozici tlačítko „předjíždění“, které umožňuje získat dočasně maximální výkon. Všechna omezení týkající se vyčerpání baterie či šetření paliva jsou ignorována. Tato funkce si však vybírá svou daň v dalších kolech. Za půl sekundy, kterou takto na kole jezdcí získají, ztratí v dalších kolech až dvě sekundy nabíjením baterie. Proto se tato funkce využívá méně, majoritní podíl má procesor, který energii využívá neefektivněji. Díky turbu je dnes k dispozici dvojnásobek točivého momentu než v minulých letech. Pro představu v Monaku při plném sešlápnutí plynového pedálu se motor zatěžuje pouze na 48% a v Monze na 65%. Zde je poté prostor pro výrobu elektřiny. Po dosažení potřebného krouticího momentu motor začne spalovat více benzínu, výkon ovšem není použit k pohonu nápravy, ale MGU-K se použije jako generátor a ukládá energii do baterie. Tomuto efektu se říká *overloadin* (přetěžování). Při závodě je toto omezeno pravidlem 100 kg paliva, které mají týmy k dispozici pro jednotlivá auta. [7, 42, 43, 44, 46]

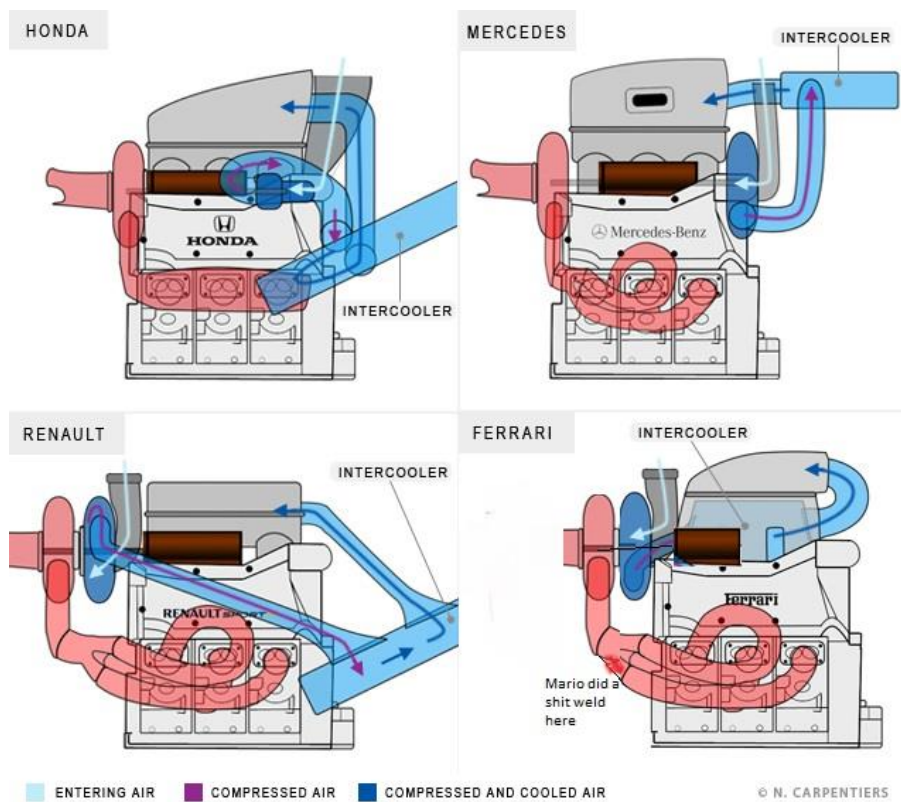


Obr. 45 - Využívání ERS systému na okruhu [44]

1. Přetěžování – výjezd na rovinku, MGU-H posílá energii do baterií a na motorgenerátor na zadní nápravě, kde je využita pro pohon a po dosažení potřebného krouticího momentu motor začne spalovat více benzínu, výkon není použit k pohonu nápravy, ale MGU-K se použije jako generátor a ukládá energii do baterie
2. Zrychlování – MGU-H získává energii spalin a posílá ji do motorgenerátoru na zadní nápravě, takto získaná energie se nepočítá do limitu 4 MJ na kolo
3. Brždění – MGU-K získává kinetickou energii při brždění a ukládá ji v akumulátoru
4. Výjezd ze zatáčky – MGU-H drží turbodmychadlo v otáčkách, aby měl jezdec neustále k dispozici maximální výkon spalovacího motoru, ale spotřebovává tím energii z akumulátorů



Jednotlivé konstrukce MGU-H od automobilek, které motory pro formuli 1 vyrábí, se liší až na Ferrari a Renault, které použily koncepci stejnou až na intercooler.



Obr. 46 – Rozdílné konstrukce MGU-H od jednotlivých výrobců [49]

### 6.2.2 Budoucí předpokládaný vývoj

Nejpodstatnější změny plánované pro další roky, co se hybridních motorů týče, jsou tyto:

1. Zvýšení otáček z 15 000rpm na 18 000rpm. Důvodem jsou stížnosti na zvuk motoru formule 1.
2. Odstranění MGU-H. To je velký zásah do dosavadního vývoje formule 1. MGU-H bylo v podstatě důvodem přechodu na systém ERS a všichni si od něj slibovali velké využití do budoucnosti i u civilních automobilů. Důvodů pro zrušení je ovšem několik. Zaprvé jde o velmi technicky náročný, a tudíž velice drahý komponent motoru a začalo se hodně spekulovat, zda již nejsou formule „předražené“. Za druhé je Formule 1 založena na filozofii, že technologie, které se zde objevují, by měly být použitelné v budoucnu u civilních automobilů. V případě MGU-H je toto velice spekulativní, jelikož systém funguje pouze, pokud je motor pod plnou zátěží, což se u civilních automobilů nepředpokládá. A opět je tu problém technické náročnosti a poruchovost, která je u civilních aut velice nežádoucí.
3. Zesílení MGU-K. Jedná se o logický důsledek při zrušení MGU-H, jelikož je kladen velký důraz na to, aby měla formule vyšší výkon než ten dosavadní, i když spalovací motor zůstane stejný. Očekává se také větší zapojení jezdce do ovládání hybridního systému. S energií by neměl pracovat procesor, ale samotný jezdec a nakládat s ní tak, jak uzná za vhodné. Toto by mělo opět zatraktivnit závody a dodat větší důraz na schopnosti jezdce.
4. Zvýšení množství použitého paliva na závod. Toto pravidlo souvisí se zvýšením otáček a tím samozřejmě i se zvýšením spotřeby. Vznikly obavy, že by dosavadní limit paliva byl omezující pro formule 1. [45, 47, 48, 50]

## 6.3 LeMans

### 6.3.1 Vývoj hybridních vozů v kategorii LMP1

S hybridní technologií v závodech LeMans v nejvyšší kategorii LMP1 přišel Peugeot, který v roce 2009 předělal svůj diesellový speciál 908HDi na 908HY tím, že byl přidán elektrický systém KERS o výkonu 60kW a fungoval na stejném principu jako u tehdy začínajících hybridních formulí 1. Zajímavostí je, že automobil měl 600 malých Li-Ion baterií. Tento automobil byl velice úspěšný a poté se začaly objevovat hybridní speciály i od Toyoty, Audi a Porsche.



Obr. 47 – Peugeot 908 HY [49]

Peugeot z tohoto boje kvůli finančním potížím vypadl. A tak iniciativu převzalo Audi, které od roku 2012 až do roku 2014 kralovalo. V roce 2014 byl boj o vítězství velice zajímavý, protože Audi, Porsche i Toyota měly úplně rozdílné pohonné jednotky. [51]

#### 6.3.1.1 Audi

Audi vítězilo se svým Audi R18 e-tron quattro, které poháněl vznětový spalovací V6 motor o objemu 4l s turbem o výkonu 395kW, který nesl označení TDI a elektromotor o výkonu 160kW na přední nápravě. Zvažovalo se použití systému MGU-H avšak kvůli složitosti a hmotnostním limitům se systém v automobilu neobjevil. Jako akumulátor byl používán setrvačnick. [52]



### 6.3.1.2 Porsche

U automobilky Porsche se rozhodli u svého modelu 919 Hybrid pro malý zážehový motor V4 o objemu 2l s turbodmychadlem, který produkoval 370kW na zadní nápravě. Přední náprava byla poháněna elektromotorem o výkonu 183kW. Jako akumulátory byly použity Li-Ion baterie. Porsche také disponovalo systémem MGU-H. [52]

### 6.3.1.3 Toyota

V roce 2014 Toyota nastoupila do závodů s modelem TS040 Hybrid. Spalovací motor byl atmosférický V8 a objemu 3,7l, který jako jediný neměl turbo, a tudíž ani systém MGU-H. Nehledě na to, že neměl přeplňování, produkoval na zadní nápravě 382kW a elektromotory na rozdíl od konkurence pomáhaly na všech čtyřech kolech. Jako akumulátory byly použity superkondenzátory. [52]

Kvůli různé úrovni hybridizace a využívané elektrické energii se musely určit pravidla:

#### VALUES OF ENERGIES AND POWER FOR LE MANS CIRCUIT

|                                  |        | No ERS | ERS OPTIONS |             |             |             |
|----------------------------------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                  |        |        | < 2         | < 4         | <6          | < 8         |
| Released Energy                  | MJ/Lap | 0      | < 2         | < 4         | <6          | < 8         |
| Released Power                   | kW     | 0      | Not limited | Not limited | Not limited | Not limited |
| Car Mass                         | kg     | 850    | 870         | 870         | 870         | 870         |
| Petrol Energy                    | MJ/Lap | 150.8  | 146.3       | 141.7       | 137.2       | 134.9       |
| Max Petrol Flow                  | kg/h   | 95.6   | 93          | 90.5        | 87.9        | 87.3        |
| Petrol capacity carried on-board | l      | 66.9   | 66.9        | 66.9        | 66.9        | 66.9        |
| Fuel Technology Factor           | -      | 1.061  | 1.061       | 1.061       | 1.061       | 1.061       |
| K Technology Factor              | -      | 1      | 0.983       | 0.983       | 0.983       | 1           |
| Diesel Energy                    | MJ/Lap | 142.1  | 140.2       | 135.9       | 131.6       | 127.1       |
| Max Diesel Flow                  | kg/h   | 83.4   | 83.3        | 81          | 78.3        | 76.2        |
| Diesel capacity carried on-board | l      | 54.8   | 54.8        | 54.8        | 54.8        | 54.8        |

Obr. 48 - Pravidla pro jednotlivé úrovně využití elektrické energie[53]

Porsche i Toyota v této době spadaly do kategorie pro 6MJ a Audi mělo nejmenší možné 2MJ. K omezení spotřeby paliva dochází na základě předchozího využití rekuperace, čím větší využití rekuperace, tím větší omezení spotřeby paliva. Naopak od Formule 1 není omezen maximální průtok za hodinu. Motor má možnost téměř jakkoliv využívat palivo, přičemž vymezeno je pouze množství, které je povoleno vyčerpávat za tři závodní okruhy. Auto tedy může v jednom z kol využít polovinu povoleného množství paliva, avšak zbylá polovina

paliva musí vydržet na ještě následující dva okruhy. V praxi se samozřejmě objevují určité malé výkyvy. S omezením množství paliva souvisí i velikost nádrží. Benzinové hybridní prototypy v Le Mans mají nádrž na 66,9 litru paliva, diesely mají k dispozici 54,3 litru. Objemy jsou stanoveny na základě množství dostupné energie z paliva a to proto, aby ani jedna ze stran nebyla v nevýhodě ohledně počtu tankování. Přestože benzin a nafta mají obdobnou výhřevnost, tak jejich hustoty se liší a na 1 litr nafty se uvolní více energie. [52]



Obr. 49 -Závodní speciály LeMans 2014 [52]

### 6.3.2 Porsche 919 Hybrid (2017)

Audi v roce 2016 odstoupilo kvůli finančním potížím lídra koncernu Volkswagenu při kauze dieselgate. Nebylo přípustné, aby koncern financoval dvě své automobilky soupeřící proti sobě, a proto zůstalo jen Porsche. Automobilka zůstala u malého V4 motoru o objemu 2l o výkonu 368kW, který je nejúčinnějším spalovacím motorem, který automobilka vyrobila. Opět zde zůstávají dva systémy rekuperace energie MGU-H a MGU-K a Li-Ion akumulátory. Výkon elektromotoru však výrazně vzrostl na více než 294kW a pohání přední nápravu. Porsche se posunulo do kategorie využívající 8MJ energie na kolo, ale maximálně 4,31 l paliva. [54]

|                    |                          |                                                     |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------|
| Spalovací motor    | Druh                     | Zážehový                                            |
|                    | Zdvihový objem           | 2000cm <sup>3</sup>                                 |
|                    | Počet válců              | 4                                                   |
|                    | Plnění                   | Turbodmychadlo                                      |
|                    | Výkon                    | 368kW                                               |
| Elektromotor       | Výkon                    | 294kW                                               |
| Celkový výkon      |                          | 662kW                                               |
| Akumulátor         | Druh                     | Li-Ion baterie                                      |
| Pohonné ústrojí    | Převodovka               | Sekvenční                                           |
|                    | Počet převodových stupňů | 7                                                   |
|                    | Hnaná náprava            | 4x4<br>Spalovací motor zadní<br>Elektromotor přední |
| Celková hmotnost   |                          | 875 kg                                              |
| Poměr výkon : váha |                          | 0,76 kW/kg                                          |

Tab. 9 – Parametry Porsche 919 Hybrid[54]





*Obr. 50 - Porsche 919 Hybrid [55]*



*Obr. 51 – Porsche 919 Hybrid [56]*

### 6.3.3 Toyota TS050

Pro udržení kroku s konkurencí musela Toyota svůj vůz výrazně předělat. Atmosférický V8 motor byl vyměněn za V6 o objemu 2,4 l s dvěma turby a výkonem 368 kW. Elektromotory umístěné na všech 4 kolech dohromady produkují stejnou hodnotu výkonu jako spalovací motor, a tudíž celkový výkon je přibližně 735kW. Superkondenzátory byly vyměněny za Li-Ion baterie a stejně jako Porsche se i Toyota posunula do kategorie s využíváním 8MJ elektrické energie na kolo. Po odstoupení Porsche ze závodů LeMans vyhrála Toyota s modifikací tohoto modelu tento prestižní závod v roce 2018.

|                    |                          |                                                             |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Spalovací motor    | Druh                     | Zážehový                                                    |
|                    | Zdvihový objem           | 2400cm <sup>3</sup>                                         |
|                    | Počet válců              | 6                                                           |
|                    | Plnění                   | Bi-Turbo                                                    |
|                    | Výkon                    | 368kW                                                       |
| Elektromotor       | Výkon                    | 368kW                                                       |
| Celkový výkon      |                          | 735kW                                                       |
| Akumulátor         | Druh                     | Li-Ion baterie                                              |
| Pohonné ústrojí    | Převodovka               | Sekvenční                                                   |
|                    | Počet převodových stupňů | 6                                                           |
|                    | Hnaná náprava            | 4x4<br>Spalovací motor zadní<br>Elektromotor přední i zadní |
| Celková hmotnost   |                          | 875kg                                                       |
| Poměr výkon : váha |                          | 0,84 kW/kg                                                  |

Tab. 10 - Parametry Toyota TS050[58]



*Obr. 52 - Toyota TS050 [57]*



*Obr. 53 – Toyota TS050 [57]*



## 7 Závěr

V této bakalářské práci jsem provedl rešerši tématu hybridních sportovních a závodních vozidel a pravidel, která pro tyto vozy platí. Vytvořil jsem zde jednoduchou kategorizaci, popis jednotlivých vozů a zabýval jsem se i konkrétními omezeními, se kterými se musí automobilky potýkat při konstrukci závodních speciálů.

Jde o novou kategorii vozů, která má do budoucna obrovský potenciál, ať už z hlediska jízdních vlastností automobilů nebo kvůli neustále se zvyšujícím ekologickým nárokům. Dle mého názoru se v oblasti supersportovních vozidel budou již hybridy pravidelně objevovat a pokud je nenahradí čistě elektrická sportovní auta, která dnes jsou v prototypovém stádiu, budou mít majoritní podíl na trhu. Pokud jde o sportovní vozy bude záležet na tom, jak moc normy Evropské unie začnou automobilkám diktovat podmínky. Osobně si myslím, že jde o dokonalý kompromis, protože hybridní systém vozům pomáhá, ale stále má automobil k dispozici spalovací motor, který ke sportovní jízdě neodmyslitelně patří svým zvukem a charakterem. U závodních vozů se od hybridizace očekává vývoj technologií, které budou v budoucnu použity u normálních vozů. V dnešní době se již ve Formuli 1 neočekává, že by se kdykoli mohl vrátit čistě spalovací motor bez hybridní technologie.

## 8 Použité zdroje

- [1] Morkus, J. Hybridní pohony [vid. 2018-02-15]. Dostupné z: [https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150-Hybridni\\_pohony/](https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150-Hybridni_pohony/)
- [2] *Autocz: Hybridní automobily 2* [vid. 2018-02-22]. Dostupné z: <http://blog.auto.cz/baracadaj/2008-08/hybridni-automobil-2/>
- [3] Dusil, T. (2016, 15. listopad). *Autocz: Není hybrid jako hybrid. Čím se jednotlivé systémy liší?* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/neni-hybrid-cim-jednotlive-systemy-lisi-100314>
- [4] *Slide Share: Kinetic energy recovery system (KERS)* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/akex009/kinetic-energy-recovery-system-all-types-of-kers>
- [5] Tůma, M. *VTM: Formule 1 na baterie nebo na setrvačnik?* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://vtm.e15.cz/formule-1-na-baterie-nebo-na-setrvacnik>
- [6] *BISER3A: Explained: Formula 1's Energy Recovery System (ERS)* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://biser3a.com/formula-1/explained-formula-1s-energy-recovery-system-ers/>
- [7] Hlawiczka, P. (2015, 5. leden) *FINEWS: Jak funguje hybridní systém F1 aneb když MGU-K nestihá dobíjet baterie* [vid. 2018-05-17]. Dostupné z: <https://f1news.autoroad.cz/technika/49650-jak-funguje-hybridni-system-f1-aneb-kdyz-mgu-k-nestiha-dobijet-baterie>
- [8] Hlawiczka, P. (2015, 23. prosinec) *FINEWS: Proč je hybridní V6 tím nejsilnějším motorem Mercedesu v historii F1* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://f1news.autoroad.cz/technika/75713-proc-je-hybridni-v6-tim-nejsilnejsim-motorem-mercedesu-v-historii-f1>
- [9] *Reddit: Martin Brundle explains how the Mercedes split turbo works* [vid. 2018-06-22]. Dostupné z: [https://www.reddit.com/r/formula1/comments/22fumn/martin\\_brundle\\_explains\\_how\\_the\\_mercedes\\_split/](https://www.reddit.com/r/formula1/comments/22fumn/martin_brundle_explains_how_the_mercedes_split/)
- [10] Frei, M. (2014, 19. únor) *Svět motorů: Téma: Padesát odstínů CO2* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://svetmotoru.auto.cz/clanek/servis/4732/tema-padesat-odstinu-ce-o-dve.html>
- [11] *AUTO.iDNES: Emise oxidu uhličitého v Evropě rostou, v procentech nejvíce u Škodovky* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: [https://auto.idnes.cz/emise-co2-oxid-uhlicity-jato-dpr-/automoto.aspx?c=A180410\\_104150\\_automoto\\_fdv](https://auto.idnes.cz/emise-co2-oxid-uhlicity-jato-dpr-/automoto.aspx?c=A180410_104150_automoto_fdv)
- [12] *Acura* [vid. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://nsx.acura.com/explore/nsx>
- [13] *Auto-Data: 3.5 i-VTEC Bi-Turbo V6 (581 Hp) Hybrid AWD Automatic* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/honda-nsx-ii-coupe-3.5-i-vtec-bi-turbo-v6-581hp-hybrid-awd-automatic-32058>

- [14] Fokt, M. (2015, 27. říjen) *Auto: Honda NSX: Čtyřmotorový supersport má 582 koní* [vid. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/honda-nsx-ctyrmotorovy-supersport-ma-582-koni-89985>
- [15] Mihálik, M. *Autoweb: Honda NSX (2016): detailní technické parametry odhaleny, čtyři motory nabídnou 581 koní* [vid. 2018-06-17]. Dostupné z: <https://www.autoweb.cz/honda-nsx-2016-detailni-technicke-parametry-odhaleny-ctyri-motory-nabidnou-az-581-koni/>
- [16] *Lexus* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.lexus.com/models/LC>
- [17] *Autosalon: Lexus LC 500h využívá unikátní hybridní pohon* [vid. 2018-06-16]. Dostupné z: <https://autosalon.iprima.cz/zpravy/lexus-lc-500h-vyuziva-unikatni-hybridni-pohon>
- [18] *Lexus Enthusiast: 2018 Lexus LC 500 & LC 500h Preview* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://lexusenthusiast.com/2016/12/08/2018-lexus-lc-500-lc-500h-preview/>
- [19] *AUTO.iDNES: Supersport s přehazovačkou je první hybrid, který řidiče baví* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: [https://auto.idnes.cz/lexus-lc-ctw-/auto\\_testy.aspx?c=A170824\\_170025\\_auto\\_testy\\_fdv](https://auto.idnes.cz/lexus-lc-ctw-/auto_testy.aspx?c=A170824_170025_auto_testy_fdv)
- [20] *Autohled: Lexus LC* [vid. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/a/lexus/lc/500h/3754>
- [21] *Porsche: Panamera Turbo S E-Hybrid* [vid. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.porsche.com/international/models/panamera/panamera-e-hybrid-models/panamera-turbo-s-e-hybrid/>
- [22] *Fastestlaps: Panamera Turbo S E-Hybrid* [vid. 2018-06-11]. Dostupné z: <http://fastestlaps.com/models/porsche-panamera-turbo-s-e-hybrid>
- [23] *Porsche: Technical Specs* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.porsche.com/central-eastern-europe/en/malta/models/panamera/panamera-e-hybrid-models/panamera-turbo-s-e-hybrid/featuresandspecs/>
- [24] *BMW: The BMW i8* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.bmw.in/en/all-models/bmw-i/i8/2014/at-a-glance.html>
- [25] *BMW: BMW i8 Coupé* [vid. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i8-coupe/2017/bmw-i8-coupe.html>
- [26] Horčík, J. (2017, 30. listopad) *Hybrid: BMW i8 Roadster a Coupé: plug-in hybridy s dojezdem až 55 km* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/bmw-i8-roadster-coupe-plug-hybridy-s-dojedem-az-53-km>
- [27] *McLaren: The McLaren P1* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://cars.mclaren.com/ultimate-series/p1>
- [28] *AUTO.iDNES: McLaren P1 je technický zázrak, který zastíní i formuli 1* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: [https://auto.idnes.cz/mclaren-p1-c7o-/automoto.aspx?c=A130304\\_213212\\_automoto\\_vok](https://auto.idnes.cz/mclaren-p1-c7o-/automoto.aspx?c=A130304_213212_automoto_vok)

- [29] *Media: McLaren P1* [vid. 2018-06-14]. Dostupné z: <http://media.mclarenautomotive.com/models/mclaren-p1>
- [30] *AUTO.iDNES: Technika aut snů. Srovnání LaFerrari, Porsche 918 a McLarenu P1* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: [https://auto.idnes.cz/laferrari-mclaren-p1-porsche-918-deg-/automoto.aspx?c=A130402\\_165605\\_automoto\\_vok](https://auto.idnes.cz/laferrari-mclaren-p1-porsche-918-deg-/automoto.aspx?c=A130402_165605_automoto_vok)
- [31] *The Car Guide: Ferrari La Ferrari* [vid. 2018-06-14]. Dostupné z: <https://www.guideautoweb.com/en/makes/ferrari/laferrari/2014/specifications/base/>
- [32] Kraus, J. (2013, 5. březen) *Auto.cz: Ferrari LaFerrari: Hybridní nástupce Enza má 963 koní a maximálku přes 350 km/h* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/ferrari-laferrari-nastupce-enza-ma-963-hybridnich-koni-maximalni-rychlost-pres-350-km-h-73230>
- [33] *Caroto* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.caroto.gr/static/media/2013/04/laferrari-hy-kers-6.jpg>
- [34] *TopGear: Drop-top LaFerrari krijgt koosnaam Aperta* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://topgear.nl/autonieuws/laferrari-spider-heet-aperta/?cookieaccepted=true&cookieaccepted=true>
- [35] *Auto-Data: Technical specifications: Porsche - 918 Spyder* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.auto-data.net/en/porsche-918-spyder-4.6-v8-887hp-hybrid-pdk-21380>
- [36] Horčík, J. (2014, 30. říjen) *Hybrid: Porsche 918 Spyder: cena, dojezd, specifikace* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/porsche-918-spyder-cena-dojezd-specifikace>
- [37] Dittrich, L. (2013, 11. září) *Autorevue: Porsche 918 Spyder: nový hybridní supersport zblízka a podrobně* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/porsche-918-spyder-novy-hybridni-supersport-zblizka-a-podrobne/ch-49092#articleStart>
- [38] *Photoscar: Porsche 918 Spyder 2018 – Edo Competition va recevoir 3 exemplaires* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <http://www.photoscar.fr/porsche-918-spyder-edo-competition/>
- [39] Kubala, P. (2017, 31. říjen) *F1sport: F1 2021: FIA a F1 představili obrysy nových motorů* [vid. 2018-06-22]. Dostupné z: <https://f1sport.auto.cz/clanek/f1-2021-fia-a-f1-predstavili-obrysy-novych-motoru>
- [40] *AUTO.iDNES: Auťák z jiné planety: Mercedes-AMG Project One je ochočená formule* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: [https://auto.idnes.cz/mercedes-amg-project-one-hypersport-d7e-/ak\\_aktual.aspx?c=A170912\\_165412\\_ak\\_aktual\\_fdv](https://auto.idnes.cz/mercedes-amg-project-one-hypersport-d7e-/ak_aktual.aspx?c=A170912_165412_ak_aktual_fdv)
- [41] *Delivauto: Salon de Francfort 2017 : Mercedes dévoile la Project One* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.delivauto.fr/salon-de-francfort-2017-mercedes-devoile-la-project-one/>
- [42] Pecák, R. (2018, 19. leden) *Autorevue: Jak funguje hybridní systém ve vozech F1? Kdo s ním umí zacházet, vyhrává* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/jak-funguje-hybridni-system-ve-vozech-f1-co-je-to-mgu-k-a-mgu-h>

- [43] *F1: Power unit and ERS* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: [https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/understanding-f1-racing/Energy\\_Recovery\\_Systems.html](https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/understanding-f1-racing/Energy_Recovery_Systems.html)
- [44] *BISER3A: Explained: Formula 1's Energy Recovery System (ERS)* [vid. 2018-06-19]. Dostupné z: <https://biser3a.com/formula-1/explained-formula-1s-energy-recovery-system-ers/>
- [45] *F1: What's new for 2018?* [vid. 2018-06-12]. Dostupné z: <https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/rules-regs/2018-season-changes.html>
- [46] *Formula 1: Power unit and ERS* [vid. 2018-06-20]. Dostupné z: [https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/rules-regs/Power\\_Unit\\_and\\_ERS.html](https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/rules-regs/Power_Unit_and_ERS.html)
- [47] *F1sport: Technická pravidla F1* [vid. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://f1sport.auto.cz/clanek/technicka-pravidla-f1>
- [48] Borrás, J. (2017, 1. listopad) *Gas 2: Formula 1 Engine Rules 2021: What's New, What's Different?* [vid. 2018-06-22]. Dostupné z: <https://gas2.org/2017/11/01/formula-1-engine-rules-2021-whats-new/>
- [49] *Reddit: The Cream of the Crop and the Black Sheep: Mercedes and Honda PU's.* [vid. 2018-06-22]. Dostupné z: [https://www.reddit.com/r/formula1/comments/3mel35/the\\_cream\\_of\\_the\\_crop\\_and\\_the\\_black\\_sheep/](https://www.reddit.com/r/formula1/comments/3mel35/the_cream_of_the_crop_and_the_black_sheep/)
- [50] *F1: 2021 power unit proposal, 2019 rule changes revealed* [vid. 2018-03-24]. Dostupné z: <https://www.formula1.com/en/latest/headlines/2018/4/2021-power-unit-proposal-2019-rule-changes-revealed.html>
- [51] *Norev: Peugeot 908 HY Salon de Paris 2008* [vid. 2018-06-22]. Dostupné z: <http://www.norev.com/en/archives/8038-peugeot-908-hy-salon-de-paris-2008.html>
- [52] *Auto.iDNES: V Le Mans se šetří. Vítězná audi jezdila s třicetilitrovou spotřebou* [vid. 2018-06-22]. Dostupné z: [https://auto.idnes.cz/le-mans-spotreba-02q-/automoto.aspx?c=A140616\\_162322\\_automoto\\_vok](https://auto.idnes.cz/le-mans-spotreba-02q-/automoto.aspx?c=A140616_162322_automoto_vok)
- [53] *FIA Regulations* [vid. 2018-6-22]. Dostupné z: [http://www.fia.com/sport/championships/regulations/world-endurance-championship?f%5B0%5D=field\\_regulation\\_category%3A95](http://www.fia.com/sport/championships/regulations/world-endurance-championship?f%5B0%5D=field_regulation_category%3A95)
- [54] *Porsche: The new Porsche 919 Hybrid (2017)* [vid. 2018-05-21]. Dostupné z: <https://newsroom.porsche.com/en/motorsports/porsche-world-premiere-monza-919-hybrid-2017-le-mans-prototype-13583.html>
- [55] *Competición: Desvelado el Porsche 919 hybrid LMP1 versión 2017* [vid. 2018-06-22]. Dostupné z: <https://www.diariomotor.com/competicion/noticia/desvelado-el-porsche-919-hybrid-lmp1-version-2017/porsche-919-2017>
- [56] *Wallpapersite: Porsche 919* [vid. 2018-06-22]. Dostupné z: <https://wallpapersite.com/automotive/cars/porsche-919-hybrid-rear-view-4k-8632.html>

- [57] *Fastestlaps: Toyota TS050 (Mk II) specs* [vid. 2018-04-12]. Dostupné z: <http://fastestlaps.com/models/toyota-ts050>
- [58] *Toyota Gazoo Racing: Full improvement TS050 hybrid.* [vid. 2018-04-12]. Dostupné z: <https://toyotagazooracing.com/wec/cars/2017/>



## 9 Seznam obrázků

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 1 – Základní uspořádání hybridního vozidla [1].....                                             | 2  |
| Obr. 2 – Rozdělení hybridních pohonů podle funkce [1].....                                           | 2  |
| Obr. 3 – Rozdělení hybridů podle uspořádání [1].....                                                 | 4  |
| Obr. 4 – Typy sériového uspořádání [2].....                                                          | 5  |
| Obr. 5 – Typy paralelního uspořádání [2].....                                                        | 6  |
| Obr. 6 – Typ kombinovaného uspořádání [2].....                                                       | 7  |
| Obr. 7 – Využití spalovacích motorů u jednotlivých druhů vozidel [1].....                            | 8  |
| Obr. 8 – Porovnání systémů akumulace energie [1].....                                                | 9  |
| Obr. 9 – Druhy převodovek u hybridních vozidel [1].....                                              | 10 |
| Obr. 10 – KERS systém u formule 1 [4].....                                                           | 11 |
| Obr. 11 – Funkce KERS systému [4].....                                                               | 12 |
| Obr. 12 – Uspořádání ERS systému u formule 1 [6].....                                                | 13 |
| Obr. 13 – Turbo – Generátor [9].....                                                                 | 14 |
| Obr. 14 – Porovnání emisí CO <sub>2</sub> u jednotlivých automobilek mezi roky 2016 – 2017 [11]..... | 16 |
| Obr. 15 – Hybridní pohonný systém Hondy NSX [12].....                                                | 17 |
| Obr. 16 – Uspořádání pohonu Hondy NSX [12].....                                                      | 19 |
| Obr. 17 – Honda NSX [12].....                                                                        | 20 |
| Obr. 18 – Honda NSX [12].....                                                                        | 20 |
| Obr. 19 – Motor Lexus LC 500h [16].....                                                              | 21 |
| Obr. 20 – Převodový systém Lexus LC 500h [16].....                                                   | 22 |
| Obr. 21 – Uspořádání hybridního systému Lexus LC 500h [16].....                                      | 22 |
| Obr. 22 – Lexus LC 500h [16].....                                                                    | 24 |
| Obr. 23 – Lexus LC 500h [16].....                                                                    | 24 |
| Obr. 24 - Použití materiálu Lexus LC 500h [16].....                                                  | 24 |
| Obr. 25 – Hybridní pohonný systém Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21].....                        | 25 |
| Obr. 26 – Porovnání hybridních a nejsilnějšího zážehového modelu [21].....                           | 26 |
| Obr. 27 – Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21].....                                                | 26 |
| Obr. 28 – Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21].....                                                | 28 |
| Obr. 29 – Detail pneumatiky a brzd Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21].....                       | 28 |
| Obr. 30 – Řez pohonným systémem BMW i8 [24].....                                                     | 29 |
| Obr. 31 – BMW i8 roadster [26].....                                                                  | 31 |
| Obr. 32 – BMW i8 roadster [26].....                                                                  | 31 |

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obr. 33 – Hybridní pohonný systém McLaren P1 [29].....                         | 33 |
| Obr. 34 – McLaren P1 [29] .....                                                | 35 |
| Obr. 35 – McLaren P1 [29] .....                                                | 35 |
| Obr. 36 – Hybridní systém Ferrari La Ferrari [33] .....                        | 36 |
| Obr. 37 – Ferrari La Ferrari Aperta [34] .....                                 | 38 |
| Obr. 38 – Ferrari La Ferrari Aperta [34] .....                                 | 38 |
| Obr. 39 – Hybridní systém Porsche 918 Spyder [37] .....                        | 39 |
| Obr. 40 – Porsche 918 Spyder [38] .....                                        | 41 |
| Obr. 41 – Porsche 918 Spyder [38] .....                                        | 41 |
| Obr. 42 – Hybridní systém Mercedes ONE [40].....                               | 42 |
| Obr. 43 – Mercedes-AMG Project ONE [41] .....                                  | 44 |
| Obr. 44 – Mercedes-AMG Project ONE [41] .....                                  | 44 |
| Obr. 45 - Využívání ERS systému na okruhu [44] .....                           | 47 |
| Obr. 46 – Rozdílné konstrukce MGU-H od jednotlivých výrobců [49] .....         | 48 |
| Obr. 47 – Peugeot 908 HY [49] .....                                            | 50 |
| Obr. 48 - Pravidla pro jednotlivé úrovně využití elektrické energie [53] ..... | 51 |
| Obr. 49 - Závodní speciály LeMans 2014 [52] .....                              | 52 |
| Obr. 50 - Porsche 919 Hybrid [55].....                                         | 54 |
| Obr. 51 – Porsche 919 Hybrid [56] .....                                        | 54 |
| Obr. 52 - Toyota TS050 [57].....                                               | 56 |
| Obr. 53 – Toyota TS050 [57] .....                                              | 56 |

## 10 Seznam tabulek

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Tab. 1 – Parametry Hondy NSX [12].....                                 | 18 |
| Tab. 2 – Parametry Lexus LC 500h [16].....                             | 23 |
| Tab. 3 – Parametry Porsche Panamera Turbo S E-hybrid [21, 22, 23]..... | 27 |
| Tab. 4 – Parametry BMW i8 [24] .....                                   | 30 |
| Tab. 5 – Parametry McLaren P1[26].....                                 | 34 |
| Tab. 6 – Parametry Ferrari La Ferrari [31].....                        | 37 |
| Tab. 7 – Parametry Porsche 918 Spyder[35].....                         | 40 |
| Tab. 8 – Parametry Mercedes-AMG Project ONE[40].....                   | 43 |
| Tab. 9 – Parametry Porsche 919 Hybrid[54].....                         | 53 |
| Tab. 10 - Parametry Toyota TS050[58] .....                             | 55 |