

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

12120 Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel



DIPLOMOVÁ PRÁCE

TRENDY VÝVOJE HYBRIDNÍCH POHONŮ

Trends in the development of hybrid drives

student Bc. Jan Procházka

vedoucí Ing. Josef Morkus, CSc.

2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Procházka** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **408785**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávací katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní, letadlová a transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Trendy vývoje hybridních pohonů

Název diplomové práce anglicky:

Trends in the development of hybrid drives

Pokyny pro vypracování:

Proveďte analýzu vývoje hybridních pohonů u jednotlivých výrobců z hlediska druhů hybridních pohonů, aplikace u různých typů vozidel, četnosti použití a prognóz dalšího vývoje.
Sledujte vývoj technických parametrů - typy a výkony elektromotorů, druhy a kapacity akumulátorů, typy převodových ústrojí a pod.

Seznam doporučené literatury:

Podklady výrobců, internet, přednášky Hybridní pohony.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

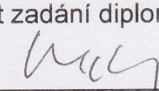
Ing. Josef Morkus, CSc., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

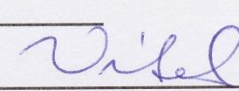
Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

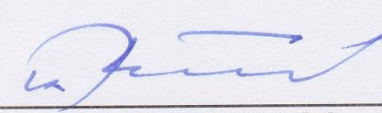
Datum zadání diplomové práce: **30.10.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.01.2019**

Platnost zadání diplomové práce:

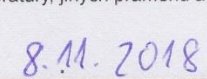

Ing. Josef Morkus, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

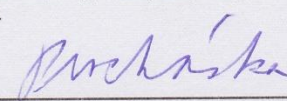

doc. Ing. Oldřich Vítek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.


8.11.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších zdrojů informací, uvedených v seznamu na konci práce.

V Praze dne 3.1.2019

.....

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Josefu Morkusovi, CSc. za cenné rady, připomínky, inspiraci, ochotu a trpělivost. Děkuji!

Název práce: Trendy vývoje hybridních pohonů

Autor: Jan Procházka

Ústav: 12120 - Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Morkus, CSc.

Anotace: Tato práce se zabývá vývojem hybridních pohonů především v uplynulých cca 20 letech. Popsány jsou jednotlivé kategorie hybridních vozů, nejvíce užívané druhy akumulátorů a elektromotorů, příklady řešení pohonných systémů vybraných výrobců a několik časových linek hybridních modelů významných značek. Rozebrány jsou též důvody užití konkrétních typů hlavních komponent (společně s jejich popisem) a příklady dalších odvětví, která hybridní pohon také užívají. Cílem je především zkoumat aspekty ovlivňující vývoj tohoto typu pohonu a směry, kam se ubírá a pravděpodobně ubírat bude.

Klíčová slova: hybridní pohon, trendy vývoje, akumulátor, elektromotor, hybridní vozidlo, HEV, emise, časová linka

Title: Trends in the development of hybrid drives

Author: Jan Procházka

Department: 12120 - Department of Automotive, Combustion Engine and Railway Engineering

Supervisor: Ing. Josef Morkus, CSc.

Annotation: This thesis writes about the development of hybrid drives mainly in the last twenty years. The categories of hybrid vehicles, commonly used types of accumulators and electric motors together with examples of hybrid systems and timelines of hybrid models of selected manufacturers are included. The reasons for use of specific components are explained (together with their description) and the examples of their use in different branches, that also use hybrid drives, are contained. The aspiration is to describe the different aspects influencing the development of hybrid drives, as to where it is now and where will be going in the future.

Keywords: hybrid drive, development trends, accumulator, electric motor, hybrid vehicle, HEV, emissions, timeline

Obsah

1	Úvod	1
2	Co je hybridní pohon?	2
3	Kdy a proč vlastně vznikl?	2
4	Rozdělení hybridních pohonů	4
4.1	Rozdělení dle uspořádání hnacího řetězce	4
4.1.1	Sériová koncepce.....	4
4.1.2	Paralelní koncepce	6
4.1.3	Kombinovaná koncepce	7
4.2	Dělení dle stupně hybridizace	9
4.2.1	Micro hybrid	9
4.2.2	Mild hybrid	10
4.2.3	Full hybrid.....	10
4.2.4	Plug - in hybrid (PHEV)	11
4.2.5	Hybridní elektromobil	11
4.2.6	Range extender (Prodlužovač dojezdu)	12
4.3	Dělení dle umístění elektromotoru	13
5	Akumulátory.....	14
5.1	Akumulátory elektrické	14
5.1.1	Olověné akumulátory (Pb)	14
5.1.2	Akumulátory nikl - metalhydrid (Ni - MH).....	15
5.1.3	Akumulátory lithium - iontové (Li - ion).....	16
5.1.4	Superkondenzátory (Superkapacitory / Ultrakapacitory)	17
5.2	Akumulátory mechanické.....	19
6	Elektromotory	21
6.1	Stejnoseměrné motory (DC motory).....	21

6.2	Střídavé motory (AC motory)	22
7	Konkrétní příklady známých hybridních systémů	24
7.1	Toyota Hybrid System (THS) - Hybrid Synergy Drive (HSD).....	24
7.1.1	První generace - THS I (1997 - 2003)	29
7.1.2	Druhá generace - THS II (2003 - 2010)	29
7.1.3	Třetí generace - THS III (2010 - 2015).....	30
7.1.4	Čtvrtá generace - THS IV (2015 - dnes)	32
7.2	General Motors - Voltec.....	34
7.2.1	Voltec I - 1. Generace - 4ET50 (2010 - 2016)	34
7.2.2	Voltec II - 2. Generace - 5ET50 (2016 - dnes).....	38
7.3	Honda - Integrated Motor Assist (IMA).....	45
7.3.1	Integrated Motor Assist - 1. generace modelu Insight (1999 - 2006).....	46
7.3.2	Integrated Motor Assist - 2. generace modelu Insight (2010 - 2014).....	47
8	Časové linky hybridních modelů vybraných automobilových výrobců	48
9	Vývoj hybridních pohonů	53
9.1	Trendy komponent hybridního pohonu.....	58
9.2	Mild hybridní systém - 48 V.....	68
10	Ostatní odvětví použití hybridních pohonů - příklady	71
10.1	Hromadná doprava	71
10.2	Pracovní stroje.....	73
10.3	Formule F1.....	74
11	Závěr a zhodnocení aktuální i budoucí situace	76
12	Seznamy	79
12.1	Seznam literatury a použitých zdrojů.....	79
12.2	Seznam obrázků	90
12.3	Seznam grafů.....	92

12.4	Seznam tabulek	93
12.5	Seznam symbolů a zkratk	94

1 Úvod

Hybridní pohon je relativně starou záležitostí, která však na počátku své první větší realizace byla odsunuta do pozadí nástupem neustále se zlepšujících spalovacích motorů. Přestože myšlenka hybridního typu pohonu má velký potenciál, nebyla dlouhou dobu výrazně využívána, jelikož k vývoji této koncepce nebyla dostatečná motivace, ani tlak ze strany společnosti. Situace se změnila až s příchodem ropných krizí a emisních norem, kdy se začala řešit jak ekonomika provozu stroje, tak jeho dopad na životní prostředí. Hlavními problémy zde byly (a dodnes jsou) vlastnosti akumulátorů energie, kterým se, i přes velký vývojový krok, stále nepodařilo výkonově dorovnat parametry fosilních paliv. Stěžejním důvodem dnešního rozšiřování hybridních pohonů jsou především neustále přísnější emisní limity. Ty se snaží reflektovat jak ochranu životního prostředí, tak úsporný provoz.

Jak vývoj u tohoto druhu pohonu postupoval do dnešních dnů, s prognózou toho, jakým způsobem se bude pravděpodobně vyvíjet dále, shrnuji v této práci.

2 Co je hybridní pohon?

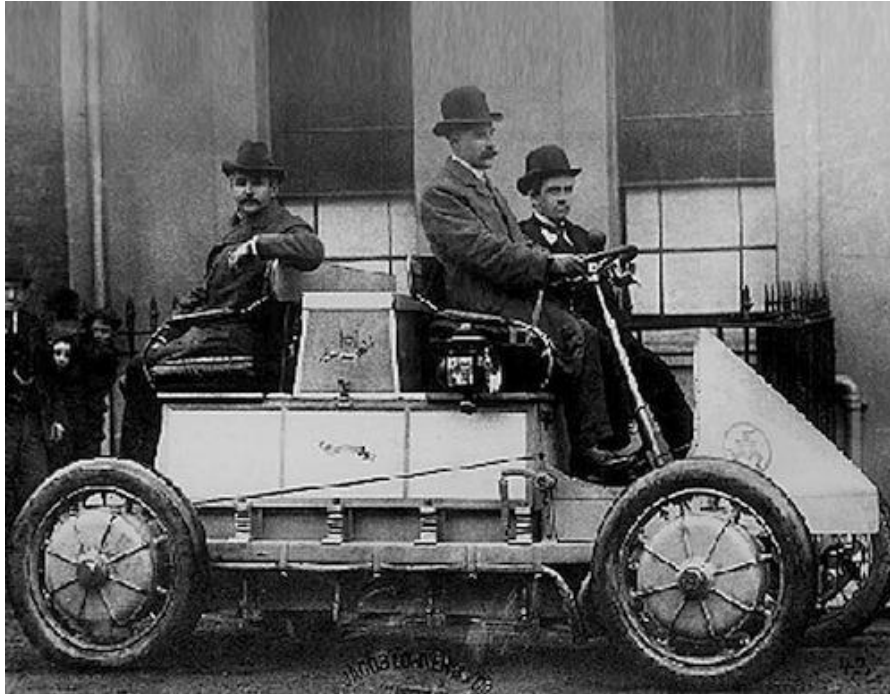
Hybridní pohon je označení pohonu, jenž využívá kombinaci 2 a více zdrojů energie v rámci jednoho vozidla / stroje. V dnešní době je nejčastější kombinací elektrická energie (elektromotor) společně s fosilními palivy (spalovací motor), ale dle definice lze za hybridní pohon považovat například i elektrokolo. V rámci akumulátorů energie jsou pak nejužívanějšími především elektrické akumulátory. Je možno se však setkat i s jinými druhy, jako jsou akumulátory tlakové nebo mechanické. [1] [2]

3 Kdy a proč vlastně vznikl?

Nelze asi určit, kdy přesně vznikl první stroj, jenž by bylo možné označit jako hybridní. Dle některých údajů, lze však za první považovat vůz navržený vlámským jezuitským knězem a astronomem Ferdinandem Verbiestem. Již v letech 1665 až 1680 tvořil plány na konstrukci parního povozu pro tehdejšího čínského císaře. Vozidlo mělo kombinovat pohon párou a koňskou silou, což lze s jistotou považovat za pohon hybridní. Bohužel však není jisté, zda byl tento stroj nakonec opravdu zkonstruován, či ne. [5]

Důvody vzniku prvních hybridních vozidel jsou však docela odlišné od těch, kvůli kterým jsou hybridní vozidla vyvíjena dnes. Vzhledem k tomu, že v 19. století, kdy rozmach vývoje motorových vozidel nabíral na intenzitě, byl vývoj spalovacího motoru ještě v počátcích, zatímco elektromotory na tom byly o poznání lépe. Vozidla, jež se byla schopna pohybovat vyšší rychlostí, tak často obsahovala elektromotor. Problémem však byl (a do dnešních dnů je) dojezd, jelikož akumulátory byly tehdy velmi rozměrné, těžké a potýkaly se s malou kapacitou. Tento problém dal vzniknout prvnímu skutečně hybridnímu automobilu nazvanému Semper Vivus, jenž v roce 1898 navrhnul Ferdinand Porsche pro společnost Lohner. Do sériové výroby se dostala inovovaná verze o 3 roky později pod jménem Mixte. [4] Vůz byl vybaven dvěma elektromotory a 4válcovým zážehovým motorem (5.5l - 18 kW), který sloužil jako pohon pro dynamo. To mělo za úkol dobíjet baterie (dle dnešní terminologie byl automobil sériovým hybridem). Elektromotory, jež byly situovány přímo v předních kolech, umožnily úplně vynechat převodovku i řetězové převody. Stroj dokázal jet maximální rychlostí 50 km/h a ujet vzdálenost až 50 km. Hlavní úspěch pak zaznamenal na

Světové výstavě v Paříži roku 1900 a též zvítězil na Exelberg Rally v roce 1901. Později se dočkal inovované verze s elektromotorem a brzdou pro každé kolo. Získal tak prvenství i s touto koncepcí. Nová verze byla schopna jet rychlostí až 110 km/h. [1] [3] [4] [5]



Obrázek 1 - Lohner Mixte [5]

Ačkoliv hybridní vozidla a elektromobily byly konkurenceschopné a funkční, levná fosilní paliva společně s postupujícím vývojem spalovacích motorů téměř na 70 let vývoj této koncepce umlčely. Oživení vývoje opět nastartovaly, až kolem roku 1970, zákony na ochranu ovzduší (Clean Air Act) a ropná krize v roce 1973. Cena ropy razantně stoupla, což s sebou samozřejmě neslo požadavky na snížení spotřeby i emisí. Automobilové firmy z různých koutů světa se tak nově začaly zabývat hybridními koncepcemi, avšak skutečný průlom přišel až v roce 1997 s hybridním modelem Prius od japonské automobilky Toyota. [1] [3] [5] [6]

Z historických událostí lze tedy vyvodit důvody, proč vlastně hybridní vozidla vznikají. Zatímco v raných počátcích automobilového vývoje byl hybridní systém výhradně možností, jak uvést vůz do pohybu, tento problém je v dnešní době dávno vyřešen. Nyní se řeší především problém, jak snížit emise spalovacích motorů, jež trápí ovzduší čím dál tím více. Dalším cílem je samozřejmě ekonomičnost provozu, případně potřeba více druhů energie k provozu strojů při speciálních účelech.

4 Rozdělení hybridních pohonů

Během posledních cca 20 let se kategorie hybridních pohonů relativně dobře vyprofilovaly. Díky četnému využití, a tedy i mnoha různým modifikacím, zde je několik skupin, do kterých lze jednotlivé systémy řadit.

Hlavní dělení je však na tři základní skupiny. Jako první skupinu lze uvažovat **rozdělení dle uspořádání hnacího řetězce**. Tu lze dále rozdělit do dalších 3 podskupin.

- Sériová koncepce
- Paralelní koncepce
- Kombinovaná koncepce

Druhou hlavní skupinou lze označit **dělení dle stupně hybridizace**, jinak řečeno, **rozdělení dle užitých funkcí**. Tato skupina má též několik podskupin.

- Micro hybrid
- Mild hybrid
- Full hybrid
- Plug - in hybrid
- Hybridní elektromobil
- Range extender (V překladu: Prodlužovač dojezdu)

Poslední skupinou je **dělení dle umístění elektromotoru**.

4.1 Rozdělení dle uspořádání hnacího řetězce

4.1.1 Sériová koncepce

Komponenty sériového uspořádání jsou situovány tzv. „za sebou“ (sériově). Elektromotor je využit k přímému pohonu vozu a využívá energii z generátoru, poháněného spalovacím motorem. Je zde samozřejmě možnost využití více než jednoho elektromotoru a jejich libovolné umístění (např. přímo do náboje, což ale zvyšuje neodpružené hmoty). To dává

jistou volnost při konstrukci, stejně jako možnost úplně vynechat řaditelnou převodovku a vystačit si pouze s redukčním převodem.

Spalovací motor je mechanicky spojen s generátorem elektrické energie, která může být směřována přímo do elektromotoru, nebo ukládána do akumulátoru (případně oboje). Skutečnost, že spalovací motor nemá mechanickou vazbu s hnanou nápravou, umožňuje nastavení optimálního režimu účinnosti, spotřeby i životnosti agregátu. V tomto případě lze teoreticky dosáhnout celkové účinnosti pohonu až 37 %, což je, oproti běžnému spalovacímu vozidlu, mnohem více. [7] Faktem však je, že kvůli několikanásobné přeměně energie je mechanická účinnost mezi spalovacím motorem a koly rapidně snížena. Vozidla s tímto uspořádáním jsou často veřejností označována jako REEV, neboli Range - Extended Electric Vehicle (elektrické vozidlo s prodlouženým dojezdem). Nejedná se ale o totéž.

Sériové hybridy najdou své uplatnění především v městském provozu. Jejich přednosti vynikají hlavně při malých rychlostech do 50 km/h. V tomto rychlostním pásmu je jejich účinnost vyšší, než v případě paralelní koncepce.

Hlavní přednosti:

- Spalovací motor lze provozovat v optimálním režimu vysoké efektivity
- Možnost absence řaditelné převodovky
- Volitelné umístění elektromotorů
- Možné využití více elektromotorů a z toho plynoucí pohon každého kola samostatně
- Vhodné do městského provozu

Hlavní negativa:

- Relativně vysoká hmotnost pohonného řetězce
- Vícenásobná přeměna energie (ztráty)
- Nutnost konstrukce spalovacího motoru pro plný výkon hybridní soustavy
- Vyšší cena
- Nevhodné pro dálniční provoz (nižší účinnost než paralelní hybrid při vysoké rychlosti)

[1] [7] [8] [9] [12] [13]

4.1.2 Paralelní koncepce

Paralelní koncepce je opět tvořena elektromotorem (ten zde plní též funkci generátoru a často i startéru) společně se spalovacím motorem. Elektromotor je v mnoha případech umístěn mezi spalovací motor a mechanickou převodovku (tzv. umístění P2 viz kapitola 4.3), případně na výstupní hřídeli převodovky (P3) - **jednohřídelové varianty**. V případě využívání pouze jednoho motoru je druhý odpojován skrze spojky, či se volně protáčí bez dodávky výkonu.

Druhou možností je pak např. implementace elektromotoru rovnou do převodovky se slučovačem momentů nebo planetové převodovky - **dvouhřídelové varianty**. Ty nemají hřídel spalovacího motoru a elektromotoru „v jedné linii“. Ve všech případech mají oba agregáty mechanickou vazbu s poháněnou nápravou a mohou být tedy (ať společně, nebo separátně) použity k přímému pohonu vozu.

Vozidlo může pracovat v různých režimech, kdy dochází k připojování jednoho, či obou druhů pohonu. V nízkých rychlostech, malém zatížení, či parkovacích manévrech si lze vystačit pouze s elektromotorem. Při potřebě vyššího výkonu, kombinovaném režimu nebo vyšší cestovní rychlosti přebírá funkci hlavního pohonu spalovací motor a elektromotor zůstává v záloze jako podpora pro případ nutného podání špičkového výkonu (typickým příkladem je využití maximální akcelerace) nebo pracuje v generátorickém režimu a dobíjí akumulátor. Rekuperace je samozřejmostí ve všech režimech.

Výhodou této koncepce je skutečnost, že nároky na výkon obou agregátů nejsou tak vysoké, jako v případě běžného automobilu, či koncepce sériové. Komponenty tak mohou být menší, lehčí a levnější. Zároveň však navzájem kompenzují své slabé stránky, což se příjemně podepisuje na provozních vlastnostech. Paralelní hybridy se hodí především pro použití ve vyšších průměrných rychlostech a mimoměstský provoz, jelikož zde je jejich účinnost vyšší než sériových.

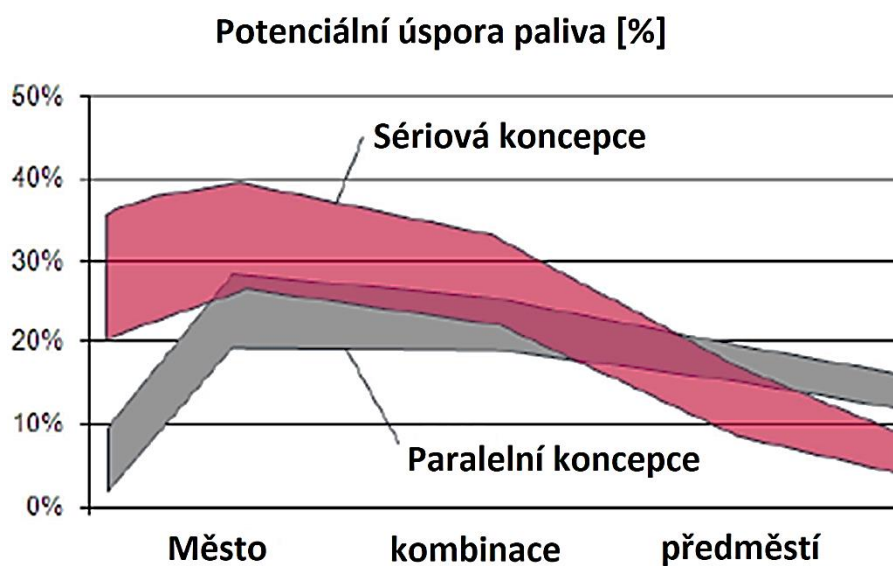
Hlavní přednosti:

- Relativně jednoduchý a kompaktní systém díky jednomu agregátu, jenž může zastávat funkci elektromotoru / generátoru / startéru
- Vysoká účinnost, zejména při vyšší průměrné rychlosti
- Možnost použití menšího spalovacího motoru i elektromotoru (momenty lze sčítat)

Hlavní negativa:

- Mechanická vazba spalovacího motoru i elektromotoru s hnanou nápravou, a tudíž nemožnost nastavení optimálního provozního režimu (z toho plynoucí vyšší spotřeba)
- Nižší účinnost při malé průměrné rychlosti (méně vhodné pro městský provoz než sériový hybrid)
- Při umístění elektromotoru na výstupní hřídeli převodovky (P3) nelze dobíjet akumulátor, když vozidlo stojí

[8] [9] [10] [12] [13]



Graf 1 - Srovnání úspory paliva sériové a paralelní koncepce v závislosti na druhu provozu (s tím související průměrnou rychlostí) [66]

4.1.3 Kombinovaná koncepce

Kombinovaná koncepce těží z výhod obou výše zmíněných koncepcí a v dnešní době je nejpoužívanějším řešením u hybridních vozů. Je zde opět možné (v rámci jednoho vozidla) používat pro pohon elektromotor, spalovací motor i oba současně. Kombinované hybridní systémy lze dělit na **2 podkategorie**, a to na **přepínatelné pohony** a **pohony s dělením výkonu**.

Přepínatelné pohony v systému kombinují soustavu spojek, které dle aktuálního jízdního režimu (čistě elektrický, sériový, paralelní, rekuperační...) spínají a rozepínají.

Pohony s dělením výkonu využívají planetové převodovky. Ty mají více stupňů volnosti a rozdělují výkon na mechanickou a elektrickou cestu. Podíl, v jakém jsou jednotlivé druhy výkonu děleny, určuje režim, ve kterém se vozidlo aktuálně nachází (jízda nízkou / vysokou rychlostí, stoupání / klesání, akcelerace / brzdění a podobně). Hlavním benefitem těchto systémů je vyšší účinnost, než v případě sériových, díky nižším ztrátám.

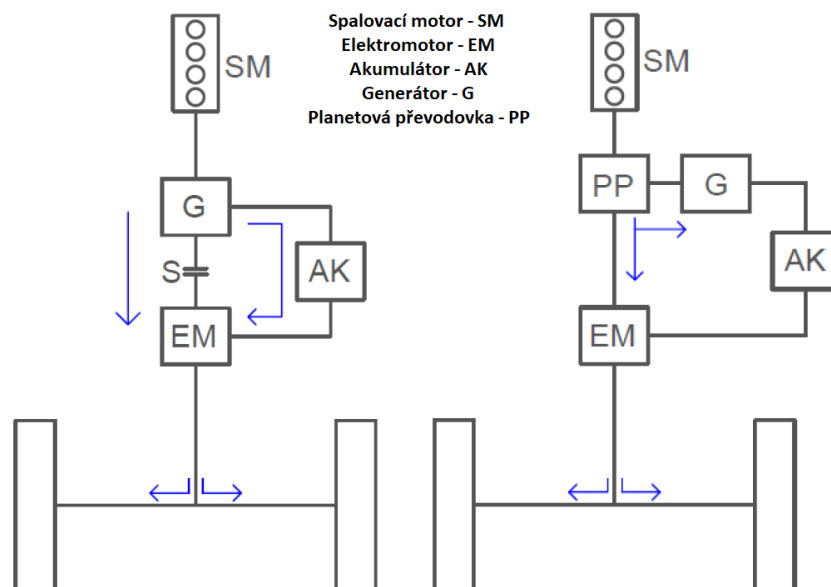
Hlavní přednosti:

- Univerzální využitelnost v různých jízdních režimech
- Spalovací motor nemusí pracovat s tak vysokými výkony a lze se tedy zaměřit na běh s vyšší účinností (Atkinsonův cyklus)

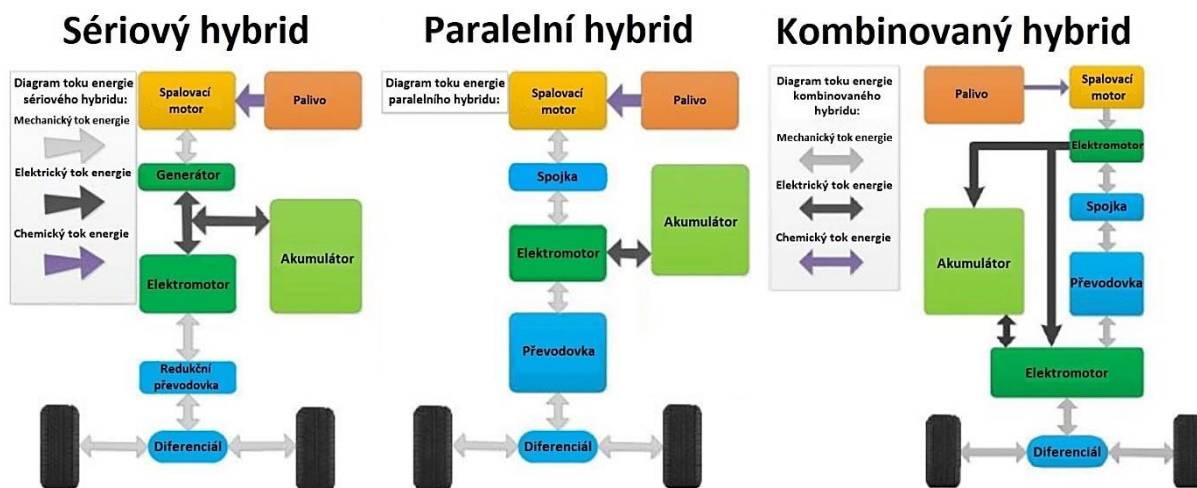
Hlavní negativa:

- Nejsložitější konstrukce ze všech koncepcí
- Vysoká cena
- Ve většině případů nutnost použití komplikované převodovky

[1] [8] [9] [12]



Obrázek 2 - Schéma kombinované koncepce - přepínatelná (vlevo), s dělením výkonu (vpravo) [1]



Obrázek 3 - Blokové schéma sériové, paralelní a kombinované koncepce [65]

4.2 Dělení dle stupně hybridizace

4.2.1 Micro hybrid

Tato vozidla se sice řadí mezi hybridní, ale z hybridní technologie používají jen velmi málo. Jde především o marketingový název pro automobily využívající systém Start - Stop, případně možnost částečné rekuperace energie při brzdění.

Vozy spadající do této kategorie mají posílené komponenty pro spouštění motoru a uzpůsobené k rychlejšímu dobíjení (jedná se především o startér, alternátor a autobaterii). Vzhledem k tomu, že motor se během jízdy několikrát zastaví a opětovně spustí (v městském provozu i desítky cyklů během jedné jízdy), je robustnější konstrukce nutnou podmínkou. Takto upravený startér je navíc schopen rozběhnout motor vyššími otáčkami, než startér běžného vozu, což vede k vyrovnanějšímu chodu a nižšímu opotřebení motoru při častých startech. V některých případech může být motor spouštěn také reverzibilním alternátorem přes klínový řemen - Belt Alternator Starter (BAS).

Důvod k zastavení spalovacího motoru je především při dojíždění a stání, které je delší než několik sekund - obvykle cca 5 s (jako je tomu v cyklu NEDC). Tento systém používají dnes ve svých modelech téměř všichni výrobci automobilů a jeho implementace zlepšuje výsledné hodnoty při měření emisí. Úspora paliva by mohla dosahovat až 8 %. [18] Reálně se však lze pohybovat podstatně níže. [1] [8] [9] [12] [13]

4.2.2 Mild hybrid

Hybridní vozidla označovaná jako mild hybrid (někdy také mírně asistovaný hybrid), opět disponují funkcí Start - Stop. Mají však navíc elektromotor / generátor většinou umístěný mezi spalovacím motorem a vícestupňovou převodovkou (pozice P1/P2), kde zastává i funkci startéru. Výkon elektromotoru je obvykle volen tak, aby pokrýval až 10 % celkového výkonu spalovací pohonné jednotky. Téměř ve všech případech pak jeho výkon nepřesahuje 25 kW [14].

Hlavní funkcí elektromotoru je podpora motoru spalovacího. Dodává výkon při prudké akceleraci, při zpomalování zase dokáže rekuperovat brzdou energii, stejně jako dobíjet akumulátor při běžném jízdním režimu. Čistě elektrický pohon vozidla zpravidla není možný, a pokud ano, tak se omezuje na parkovací manévry, rozjezd, případně jízdu s velmi nízkým zatížením.

Snížení emisí je u mild hybridů znatelné, nedosahuje však takových hodnot, jakých lze dosáhnout s vyšším stupněm hybridizace pohonu. Úspora paliva může dosahovat až 15 %. [14] - [1] [8] [9] [12] [13]

4.2.3 Full hybrid

Vozidla této kategorie jsou již schopna provozu v čistě elektrickém módu. Zatímco micro hybridy a mild hybridy mohou obsahovat pouze paralelní koncepci pohonného řetězce, zde se už lze setkat i se sériovým, případně kombinovaným řešením.

Akumulátory mají vyšší kapacitu (0,6 - 2 kWh) a operují také s vyšším napětím (200 - 300 V) [9], proto je možné využívat elektromotor ve značně rozmanitějším rozsahu. I přesto, nelze čekat velký dojezd v případě využití pouze elektrické cesty. Řádově lze ujet na akumulátor pouze několik jednotek kilometrů.

Elektromotor je též značně posílen a jeho výkon se obecně pohybuje do 75 kW [14]. Je využíván především k rozjezdu, jízdě nižší rychlostí a jako podpůrný agregát při potřebě vyššího výkonu. Jízdu s vysokým zatížením a vyššími rychlostmi zajišťuje motor spalovací.

Často (při pohledu na počet vozů s tímto řešením) se u této koncepcie používá dělič výkonu, vzhledem k aplikaci dvou druhů pohonu současně. [1] (např. systém Toyota HSD)

Rekuperace a generátorický režim jsou zde samozřejmostí. Úspora paliva může dosahovat cca 20 % [14].

4.2.4 Plug - in hybrid (PHEV)

Ve své podstatě se jedná o kategorii full hybrid doplněnou o možnost dobíjení z veřejné elektrické sítě. Akumulátory mají znatelně vyšší kapacitu (obecně 5 - 10 kWh) [9] a ve většině případů se jedná o články Li - ion. To umožňuje vozidlu ujet mnohem větší vzdálenost (řádově již desítky kilometrů) pouze na elektrický pohon. Vzdálenost je samozřejmě ovlivněna řadou různých faktorů jako stoupaní, rychlost, povrch, počasí, zatížení vozu a dalšími... Čistě elektrický dojezd je také jedno z hlavních kritérií, dle kterého jsou plug - in hybridní vozidla hodnocena a dokonce i označována. Nezřídka tak lze narazit na označení PHEVX, kde právě písmeno X je nahrazeno číslovkou označující elektrický dojezd vozidla v mílích (např. PHEV - 20 je označení pro PHEV vozidla s elektrickým dojezdem 20 mil).

Vyšší kapacita akumulátoru však s sebou nese i jistá negativa, z nichž hlavními jsou především zvýšená hmotnost. Ta i přesto, že Li - ion akumulátory mají vysokou hustotu energie, razantně zvyšuje hmotnost vozu, což zhoršuje jízdní vlastnosti, zvyšuje namáhání podvozkových komponent a především spotřebu (elektrickou i palivovou). Použití vyšší kapacity akumulátoru se rovněž výrazně podepíše na ceně.

Úspora a efektivita vozu tak závisí především na stylu využívání čistě elektrického pohonu. Pro jejich maximalizaci je tedy nutné používat dobíjení z elektrické sítě co nejčastěji. [8] [9] [16]

4.2.5 Hybridní elektromobil

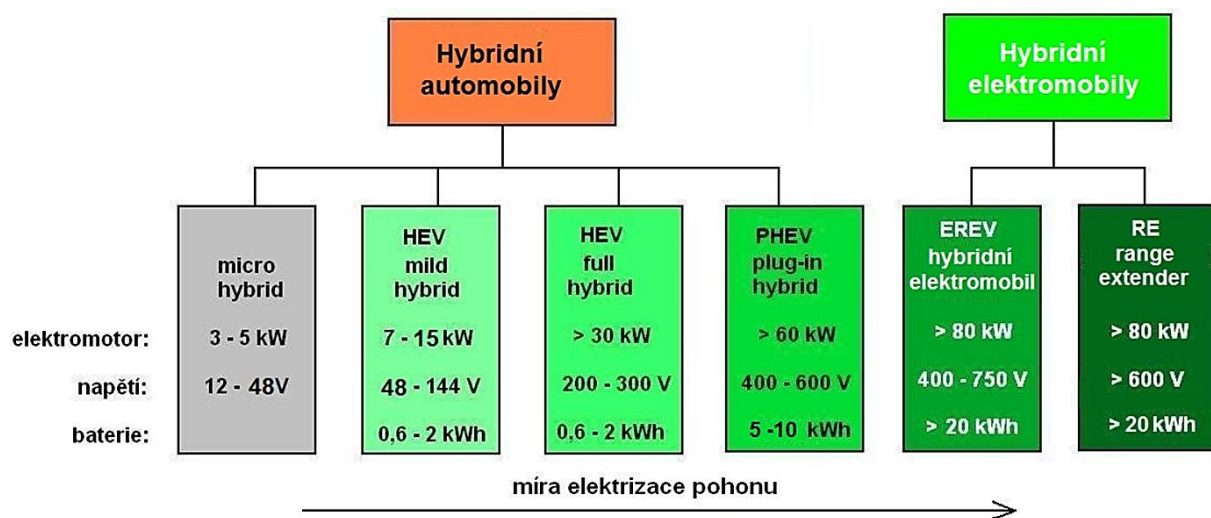
Hybridní elektromobil je vlastně elektromobilem obsahujícím současně spalovací motor. Umožňuje tedy externí dobíjení z veřejné sítě, stejně jako využití k tomuto účelu palivového agregátu, který zde primárně slouží jako druhý pohon vozu. Z tohoto důvodu ho lze často potkat pod označením paralelní range extender. Oproti plug - in hybridu se liší především v kapacitě akumulátorů, jež je zde většinou výrazně vyšší (cca 20 kWh není výjimkou). Díky tomu je dojezdová vzdálenost v čistě elektrickém režimu o dost prodloužena. Elektromotor zde mívá vyšší výkon, vzhledem k tomu, že musí být koncipován na permanentní pohon i bez

pomocí spalovacího motoru (obecně 80 kW a více). Toto řešení se poté stává jednou z neekonomičtějších variant hybridních modifikací.

Za hlavní benefit zde lze považovat, že pokud dojde k vybití akumulátorů, může vozidlo dále bez problémů pokračovat v jízdě se spalovacím motorem. Zde už efektivita bohužel výrazně klesá, jelikož vlivem vysoké kapacity akumulátorů má celý vůz o dost vyšší hmotnost. [9]

4.2.6 Range extender (Prodlužovač dojezdu)

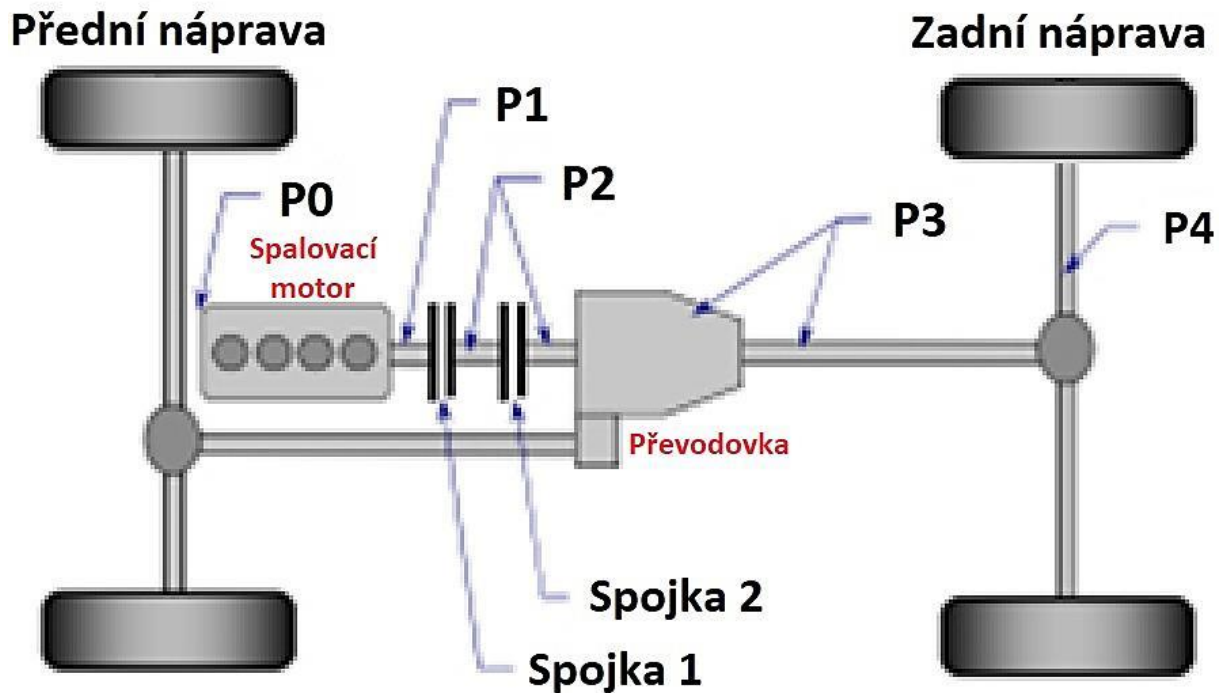
Range extender je opět elektromobilem doplněným o spalovací motor. Funkcemi je ve své podstatě shodný s hybridním elektromobilem s výjimkou toho, že spalovací motor nemůže samostatně pohánět vozidlo a je zde určen pouze k dobíjení akumulátoru skrze generátor, který pohání. Ve většině případů se jedná o motor s malým objemem válců, jehož účelem je tedy pouze prodloužení dojezdu. Jde tedy o sériovou koncepci. [9]



Obrázek 4 - Srovnání typických parametrů dle stupně elektrizace [9]

4.3 Dělení dle umístění elektromotoru

S tímto druhem rozřazení se lze setkat především v rámci konkrétnějšího popisu pohonného systému. Ne vždy však dané kategorie vyhovují konkrétnímu konstrukčnímu řešení, a tedy nelze ve všech případech toto kategorizování použít.



Obrázek 5 - Symbolické značení pozice elektromotoru [11]

5 Akumulátory

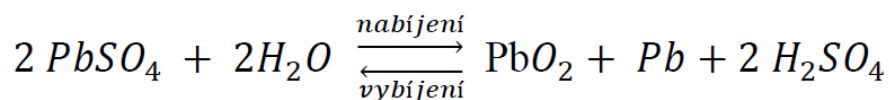
Akumulátory energie jsou jedním z hlavních a nejdiskutovanějších komponent hybridních systémů. Jejich úkolem je akumulovat energii, kterou lze poté využít k pohonu stroje. Nejčastěji používané typy akumulátorů lze rozčlenit podle principu jejich funkce na 3 skupiny. Věnovat se zde však budu pouze těm, které se nejvíce využívají, tedy elektrické a mechanické. Tlakové akumulátory jsou spíše výjimkou, ale uvádím je zde pro úplnost.

- Akumulátory elektrické (nejvíce využívané)
 - Akumulátorové články
 - Superkondenzátory
- Akumulátory mechanické
 - Setrvačníky
- Akumulátory tlakové
 - Pneumatické
 - Hydropneumatické

5.1 Akumulátory elektrické

5.1.1 Olověné akumulátory (Pb)

Olověné akumulátory jsou velmi stará technologie, jejíž vznik se datuje již do 19. století. Článek obsahuje dvě olověné elektrody ponořené do zředěné kyseliny sírové (35 %). Při nabíjení roste koncentrace kyseliny a elektrolyt nabývá na hustotě. Na kladné elektrodě se usazuje oxid olovičitý, na záporné zase rozptýlené olovo. Při vybíjení koncentrace kyseliny klesá, elektrolyt řídne a na obou elektrodách se vytváří vrstva síranu olovnatého. Změřením hustoty elektrolytu lze pak relativně přesně určit stav nabití akumulátoru. Jmenovité napětí jednoho článku jsou 2 V.



Chemická rovnice nabíjení / vybíjení Pb akumulátoru [13]

Olověné akumulátory lze dělit do dvou skupin a to na **startovací akumulátory a trakční akumulátory**.

Startovací akumulátory svými parametry nejsou vhodné k přímému pohonu vozu, jelikož mají nízkou hustotu energie (cca 30 - 40 Wh/kg), ale dokáží dodávat krátkodobě vysoké proudy (běžně stovky ampér). Proto se využívají ke startování pohonných jednotek, kde jejich specifické parametry naleznou uplatnění. Bohužel jejich ostatní atributy nejsou nijak oslnivé. Nižší účinnost samotné baterie i jejího dobíjení, obecně malý počet nabíjecích cyklu (cca 600) [9], nevhodnost vybíjení pod 50 % a životnost kolem 5 let. Moderní AGM akumulátory sice razantně zvyšují počet nabíjecích cyklu (až 3000) a lépe odolávají i v ostatních směrech, na konkurování (kromě ceny) ostatním pohonným akumulátorům bohužel nestačí.

Trakční akumulátory mají upravenou konstrukci desek (menší plocha a větší tloušťka). Mohou být pravidelně vybíjeny v rozpětí celé své kapacity a snášejí lépe vybitý stav. Jsou tedy pro přímý pohon vozu vhodnější, ale pouze ve srovnání s akumulátory startovacími. Nemají možnost dodávat tak vysoké proudy, a je tedy vhodné je použít pro aplikace, kde nejsou tak extrémní proudové odběry. Využívány jsou především v pracovních strojích, kde nevadí (případně je vyžadována) jejich vyšší váha.

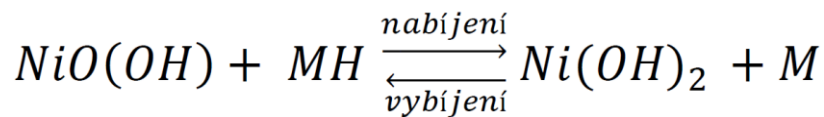
V případě hybridního systému lze nalézt především v micro hybridech. [9] [13] [17]

5.1.2 Akumulátory nikl - metalhydrid (Ni - MH)

Akumulátory typu nikl - metalhydrid vycházejí ze svého předchůdce typu nikl - kadmium (Ni - Cd). Výkonově jsou si tyto dva druhy akumulátorů podobné, ale v automobilech se dnes Ni - Cd téměř nepoužívají kvůli svému paměťovému efektu. Ni - HM články našly své místo především v mild hybridních a full hybridních řešeních, díky své nižší ceně a dlouhodobě prověřené technologii.

Záporná elektroda je vyrobena z materiálu, jenž obsahuje slitinu kovu, která pohlcuje vodík (cer, titan, nikl, kobalt, zirkon, lanthan...). Jinými slovy, obsahuje jeden ze zmíněných kovů

v kombinaci s vodíkem. Odtud tedy pochází název metal - hydrid (MH). Kladná elektroda je složena ze sloučeniny na bázi niklu, konkrétně z NiO(OH) a elektrolytem je poté vodný roztok hydroxidu draselného (KOH).



Chemická rovnice nabíjení / vybíjení Ni - MH akumulátoru [13]

Hustota energie zde dosahuje hodnot kolem 65 - 100 Wh/kg, což je o poznání více než u Ni - Cd. Společně s dlouhou životností (10 a více let), solidním počtem cyklů (cca 1000), nižší teplotní závislostí a cenou (oproti lithiovým akumulátorům), jsou tyto články dobrým zdrojem energie pro rozličné použití. Pozitivem je též fakt, že jsou relativně bezpečné a mechanicky odolné. Ve srovnání s akumulátory Ni - Cd jsou šetrnější k životnímu prostředí, neboť neobsahují vysoce škodlivé kadmium.

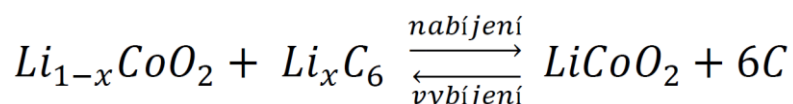
Naneštěstí si s sebou nese tento druh akumulátorů i své nevýhody, z nichž hlavními jsou relativně nízká účinnost (přibližně 70 %), vysoké samovybíjení (až 5 %/den), zahřívání v provozu, kratší životnost (vzhledem k Ni - Cd) a nákladná recyklace na konci životnosti.

Jmenovité napětí jednoho článku je 1,2 V. Plně nabitý dosahuje napětí kolem 1,4 V, napětí vybitého je zase kolem 1 V. U tohoto druhu akumulátoru je nezbytné šetrné přebíjení, aby bylo zajištěno plné nabití každého článku. Při provozu i nabíjení je většinou nutné akumulátor chladit. [9] [3] [20] [21]

5.1.3 Akumulátory lithium - iontové (Li - ion)

Lithium - iontové akumulátory jsou dnes nejvíce používaným druhem akumulátorů v hybridních vozech. Jsou komerčně nejstaršími lithiovými články a jejich masové nasazení začalo v 90. letech minulého století (obecně, nikoliv ve vozech). Vzhledem k tomu, že jejich cena byla (a stále je), ve srovnání s akumulátory Ni - MH, mnohem vyšší, byly v hybridních vozidlech používány především v plug - in hybridních verzích. V posledních letech však klesá cena i tohoto druhu akumulátorů, a tak je už velice často lze potkat i v systémech s nižším stupněm hybridizace.

Katoda je složena ve většině případů z oxidu kovové slitiny. Použity jsou materiály jako Li_2MnO_2 , LiCoO_2 nebo LiNiO_2 . Anoda je tvořena grafitem. Poslední složkou je pak elektrolyt, jenž je tvořen vodivou lithiovou solí (např. LiPF_6) a rozpouštědlem (např. metyletylkarbonát). V závislosti na volbě materiálů se může měnit napětí, kapacita, životnost a bezpečnost akumulátoru.



Chemická rovnice nabíjení / vybíjení Li - ion akumulátoru [13]

Hlavními atributy těchto akumulátorů jsou vysoká hustota energie (100 - 200 Wh/kg), vysoká účinnost nabíjení / vybíjení (80 - 90 %), nízké samovybíjení (5 - 10 %/měsíc), absence paměťového efektu, vysoká životnost (10 a více let) a dostatečné množství cyklů (cca 1000). Pozitivem je též, že jsou z velké části recyklovatelné a malé články umožňují přizpůsobit celkový tvar akumulátoru specifickým potřebám.

Na druhou stranu je tu však již zmiňovaná vyšší cena, bezpečnostní riziko při poškození obalu (lithium je vysoce reaktivní se vzduchem a vodnými roztoky) a rovněž nutnost chlazení či ohřevu akumulátoru v závislosti na jeho teplotě (optimální pracovní teplota je 18° C [20]) pro uspokojující podání výkonu.

Jmenovité napětí článku je 3,6 - 3,7 V. Plně nabitý dosahuje napětí mezi 4,1 - 4,2 V. U vybitého nesmí napětí klesnout pod 3 V, jinak hrozí jeho nenávratné poškození. Tyto skutečnosti vyžadují specifické zacházení při nabíjení i vybíjení, jež je však realizováno řídicí elektronikou, která je, v případě hybridního vozu, součástí akumulátoru.

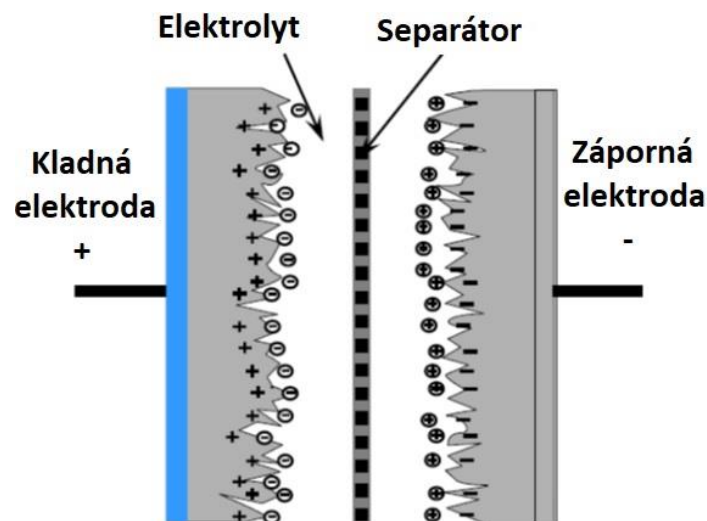
[9] [13] [17] [19] [20]

5.1.4 Superkondenzátory (Superkapacity / Ultrakapacity)

Superkondenzátory mají několik různých komerčních názvů, ale ve všech případech jde o jedno a to samé zařízení. Jedná se druh kondenzátoru, který se od toho standardního odlišuje vysokou elektrickou kapacitou (řádově tisíce Faradů). Zatímco u běžného elektrického akumulátoru se využívá pro nabíjení a vybíjení elektrochemické reakce, v tomto

případě je energie ukládána přímo v elektrické formě. Při tvorbě rozdílu elektrického potenciálu mezi kladnou a zápornou elektrodou se superkondenzátor začíná nabíjet.

Superkondenzátor obsahuje 2 vrstvy oddělené separátorem z polypropylenové fólie (ionty mohou skrze separátor projít). Na každé z vrstev se poté skladují elektrické náboje, kdy hlavní vlastností je právě velikost povrchu těchto dvou elektrod, která je přímo úměrná celkové kapacitě. Nepřímo úměrná je poté jejich vzdálenost, která bývá přibližně 10 nm. Z tohoto důvodu je materiálem elektrod práškový aktivní uhlík, jenž má vysokou poréznost (a tím i velký povrch - až 3000 m²/g) [9], vysokou teplotní stabilitu, dobrou elektrickou vodivost, chemickou netečnost, odolnost proti korozi a docela nízkou cenu. Lepších parametrů by do budoucna mohly dosahovat nanotrubičky. Prostor mezi elektrodami je pak vyplněn elektrolytem.



Obrázek 6 - Struktura superkondenzátoru [13]

Parametry superkondenzátorů je předurčují především pro funkci poskytnutí vysokého výkonu na krátký časový úsek. Z toho důvodu jsou nejčastěji párovány s běžnými akumulátory (např. Li - ion), kdy díky vysoké hustotě výkonu (až 10000 W/kg) vykrývají výkonové špičky, které by běžnému akumulátoru dělaly problémy. Bohužel mají však nízkou hustotu energie (cca 5 Wh/kg). Hlavní dominantou je ale právě možnost extrémně rychlého nabíjení (jen několik sekund) společně s vysokou účinností dosahující až 98 % [13]. Dalšími pozitivy jsou poté velmi vysoká životnost kolem 1000000 cyklů, odolnost proti poškození při úplném vybití, pomalé samovybíjení a velmi malá výkonová teplotní závislost. Napětí jedné dvojrstvy se pohybuje kolem 2,3 - 2,75 V. Řazení je sériové, což má však vliv na celkovou

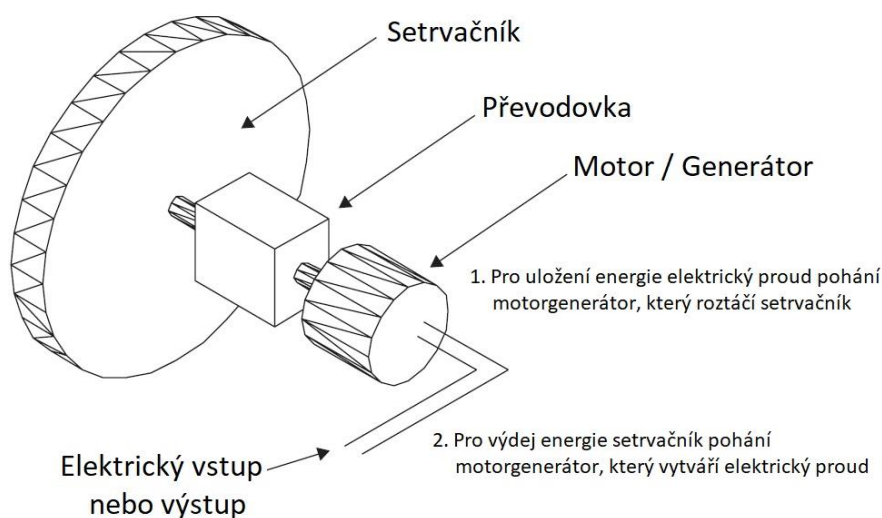
kapacitu, která se tímto snižuje. Nevýhodami jsou především zmiňovaná hustota energie a celkově vysoká cena.

Uplatnění nacházejí hlavně ve vozidlech hromadné dopravy a pracovních strojích. [9] [13] [93]

5.2 Akumulátory mechanické

Mechanické akumulátory energie - setrvačníky, pracují na principu využití energie rotující hmoty. Podle provozních otáček se dělí do dvou skupin, na **nízkootáčkové** a **vysokootáčkové**. Za **nízkootáčkové** setrvačníky jsou považovány druhy, které jsou provozovány do otáček cca 5800 1/min. Mají mechanickou vazbu, osazeny jsou běžnými ložisky a není nutno je uzavírat do skříní. Jejich využití je rozličné, ale běžně jsou používány například k vyrovnávání nerovnoměrnosti chodu spalovacího motoru nebo jako zdroj momentu pro robotizované převodovky v průběhu řazení.

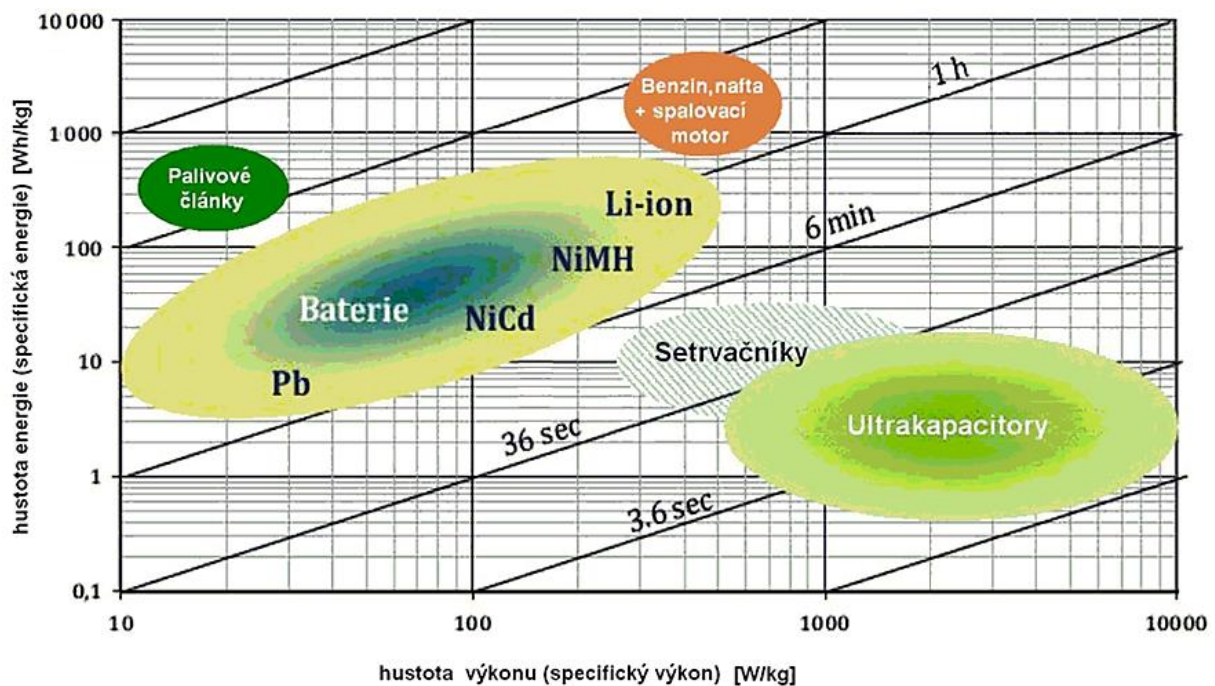
Vysokootáčkové setrvačníky mají provozní otáčky kolem 40000 1/min a moderní druhy používají kvůli odstranění pasivních odporů uložení v tzv. magnetických ložiskách, které umožňují rotoru levitovat způsobem, kdy se téměř nedotýkají jiných součástí a zároveň drží přesně svou polohu. Pro situace rozběhu i doběhu samozřejmě obsahují i ložiska valivá. Skoro vždy je pak setrvačnick umístěn ve skříní s vakuem, což snižuje ztráty způsobené aerodynamickým odporem, ale zase zhoršuje chlazení ložisek. Problémem ovšem bývá těsnost celého systému, kdy je občas nutno použít vývěvu.



Obrázek 7 - Princip setrvačnicku jako akumulátoru energie [20]

Přenos energie je ve většině případů realizován skrze generátor spojený s rotorem setrvačnicku nebo přímým spojením s koly skrze CVT převodovku a spojku. „Stav nabití“ je logicky závislý na aktuálních otáčkách, které by teoreticky mohly být až nekonečné, limit je však ve vyvážení a použitém materiálu rotoru. Ačkoliv je princip mechanického akumulátoru velmi jednoduchý, má i stinné stránky jako například gyroskopický efekt nebo vysoké riziko při nehodě vozu, či defektu uvnitř mechanismu. Svými výkonovými parametry je pak velice podobný superkondenzátorům, přičemž však disponují vyšší hustotou energie (obecně 10 - 30 kWh), ale zase nižší hustotou výkonu (cca 2000 W/kg) [9]. Životnost je udávána v rozmezí 20 - 30 let, což je opravdu hodně. Jeho parametry opět nejsou výrazně ovlivněny během různých teplot.

Uplatňovány byly například v systémech KERS Formule F1. [9] [20]



Graf 2 - Srovnání výkonových parametrů jednotlivých akumulátorů energie [9]

6 Elektromotory

K pohonu vozu je na výběr z několika druhů trakčních motorů. Jde o točivé stroje, které mají za úkol přeměnu elektrické energie na mechanickou a v případě hybridních vozů i naopak. Je tedy od nich požadováno, aby dokázaly pracovat ve funkci motoru i generátoru, což všechny níže zmíněné druhy zvládají.

Pro hybridní pohon jsou důležitými parametry vysoká účinnost, velikost a průběh točivého momentu, výkon v otáčkovém spektru, spolehlivost, bezúdržbovost, vysoký poměr výkonu k hmotnosti, nízká hlučnost, přetížitelnost a další. Různé druhy elektromotorů se od sebe výrazně liší, což dává výrobcům možnost volby. Samozřejmě je zde účelem volit tak, aby stroj disponoval co nejvíce příznivými specifikacemi.

Motory lze rozdělit do 2 základních skupin - **střídavé a stejnosměrné**.

6.1 Stejnosměrné motory (DC motory)

Stejnosměrné motory jsou pravděpodobně nejjednodušším druhem elektromotorů. Stator je tvořen elektromagnety, které jsou umístěny naproti sobě. Rotor pak obsahuje vinutí, které je napájeno skrze komutátor, na který dosedají napájecí kartáče. Regulace je řešena změnou napájecího napětí, případně budícího proudu. Podle zapojení kotvy a budícího vinutí lze tyto motory dále dělit na **sériové, paralelní nebo kompaundní** (série - paralelní), což mimo jiné ovlivňuje průběh točivého momentu.

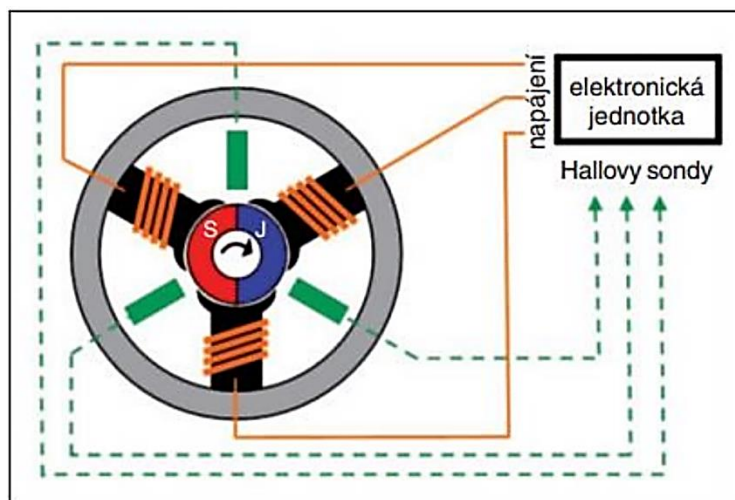
Mezi pozitiva těchto motorů patří především vysoký počáteční točivý moment, který klesá se zvyšujícími se otáčkami. Dále potom silná přetížitelnost a jednoduchá regulace. V hybridních vozech pro ně však není místo kvůli nutnosti údržby komutátoru, díky čemuž jsou i omezené otáčky (přibližně do hodnoty 7000 1/min). To dále vyžaduje vícestupňovou převodovku a společně s celkově nižší účinností a hustotou výkonu nejsou pro tento účel vhodnou variantou. [8] [13] [20]

Odlišnou variantou stejnosměrných motorů jsou tzv. **Brushless DC motory (BLDC)** - v překladu bezkartáčové stejnosměrné motory. Tento druh elektromotoru funguje opačným způsobem než běžný DC motor. Napájené je zde vinutí statoru a rotuje budič s magnety.

Proud je průběžně přepínán mezi jednotlivými cívkami ve 3 fázích a technicky vzato se tedy jedná o střídavý stroj, který je však z externího zdroje napájen stejnosměrným proudem (modifikaci proudu zajišťuje řídicí jednotka). Konstrukcí se tedy podobá synchronnímu motoru s permanentními magnety (PMSM), od něhož se však odlišuje vinutím. To je zde soustředěné (u PMSM rozprostřené) a tím pádem kratší. To snižuje cenu, váhu i ztráty. Dále si postačí s jednoduchým snímacím systémem polohy rotoru, zatímco u synchronního stroje je nutno využít mnohem složitějšího řešení. Poslední zmíněnou odlišností budiž skutečnost, že u BLDC motoru musí být magnety montovány na povrch rotoru, což není dobrým řešením pro provoz ve vysokých otáčkách.

Hlavními výhodami tohoto druhu je tedy absence komutátoru (řízeno elektronickou jednotkou - tzv. elektronická komutace), vysoká účinnost (nad 80 %) [91], přetížitelnost a nízká váha.

Nevýhodami je pak vysoká cena a nemožnost dosahovat velmi vysokých otáček. [20] [77]



Obrázek 8 - Uspořádání BLDC motoru [89]

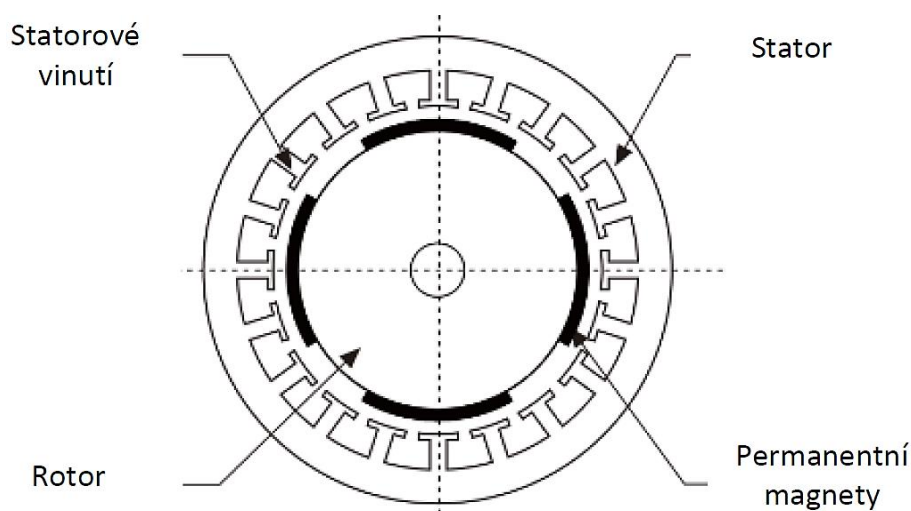
6.2 Střídavé motory (AC motory)

Střídavé motory lze dělit na 2 druhy. **Asynchronní a synchronní**. Jako první zde uvedu motory **asynchronní, jiným názvem indukční**. V tomto případě je točivým polem statoru (spojen s napájením) vytvářeno magnetické pole v rotoru, díky kterému dochází k jeho pohybu. Při běhu elektromotoru je důležité, aby byla rychlost otáčení magnetického pole

statoru odlišná od skutečných otáček rotoru, přesněji řečeno, zde byl přítomen skluz, jenž závisí na zatížení motoru. Jen za těchto podmínek může být asynchronní motor provozován. Hlavním atributem tohoto druhu motoru je fakt, že zde není potřeba vinutí kotvy a kolektoru. To umožňuje dosažení velmi vysokých otáček (až 20000 1/min). V porovnání se stejnosměrným motorem stejného výkonu má výrazně nižší váhu i menší rozměry. Může být také při provozu krátkodobě přetěžován a díky jednoduché konstrukci nevyžaduje žádné servisní zásahy. Vzhledem k tomu, že k napájení je nutný střídavý proud, musí být při použití akumulátorů implementován např. cyklicky zapínaný tyristor (tranzistor) - pulsní řízení. Regulace otáček se realizuje implementací elektronického frekvenčního měniče. Ten naneštěstí není levnou záležitostí. Jinou možností by byla ještě změna napájecího napětí nebo počtu pólů. Malým neduhem pak budiž i nepatrně nižší účinnost než u komutátorového motoru (o 1 - 2 %). [8] [20]

Synchronní motory se dělí na více typů, ale v tomto případě uvedu pouze **synchronní motory s permanentními magnety (PMSM)**, jelikož jsou jejich nejužívanější modifikací. Stator má podobnou konstrukci jako motor asynchronní. Rotor místo budícího vinutí obsahuje permanentní magnety se stejným počtem pólů jako stator. Tím je dosaženo, že při zatížení jsou otáčky rotoru stejné jako otáčky točivého pole statoru (proto název synchronní), což tedy znamená absenci skluzu. Je ale zpožděn o zátěžový úhel, který roste se zatížením. Pokud se zvyšuje hodnota zátěžového úhlu, narůstá i točivý moment, který při 90° dosahuje maxima. Když dojde k přetížení, může motor vypadnout ze synchronizace a tím dojde k jeho zastavení. Vysokých otáček dokáže dosáhnout také, ne však až takových hodnot jako motory asynchronní. Regulace PMSM motorů je v dnešní době řešena frekvenčními měniči.

Obecně jsou tyto motory (ve srovnání s asynchronními) lehčí a menší, disponují také vyšší účinností (93 - 97 %) [9]. Magnety jsou většinou neodymové, což společně s obtížnější regulací, odůvodňuje vysokou cenu těchto strojů. Oproti jiným druhům motorů, jsou méně robustní a náchylnější ke zničení při krizových stavech (přehřátí ničí magnety). [9] [65] [90]



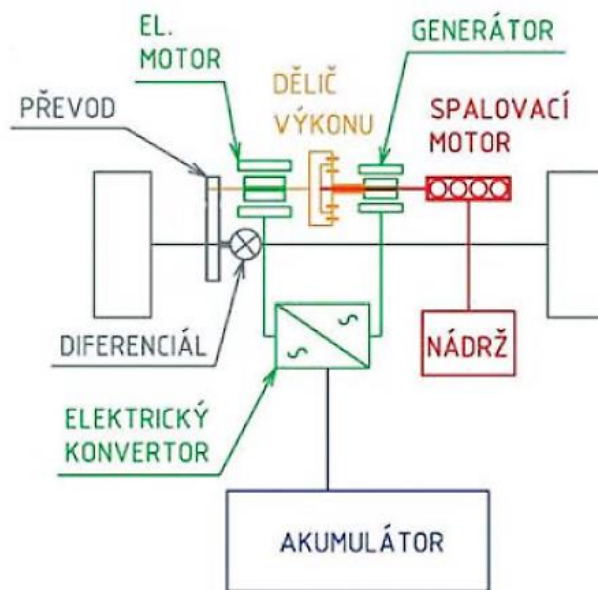
Obrázek 9 - Konstrukce PMSM [65]

7 Konkrétní příklady známých hybridních systémů

7.1 Toyota Hybrid System (THS) - Hybrid Synergy Drive (HSD)

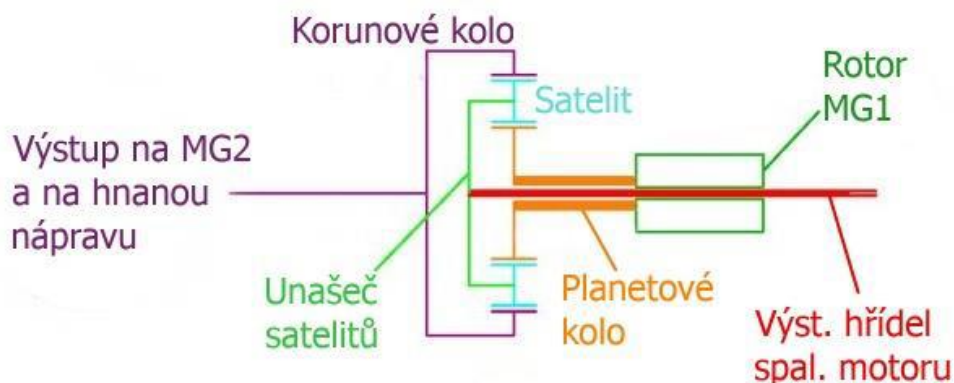
V roce 1997 spustila Toyota (jako první automobilka) hromadnou výrobu hybridních vozů. Se svým modelem Prius tak vlastně odstartovala éru vývoje hybridních automobilů ve velkém měřítku, jelikož byla téměř okamžitě následována několika dalšími automobilovými společnostmi. V roce 2003 bylo jméno změněno na Hybrid Synergy Drive kvůli použití systému v dceřiné společnosti Lexus a jejích modelech. Často se ale stále lze setkat s označením THS, které je z hlediska pořadí generací přehlednější. [26]

Hybridní systém THS v sobě kombinuje sériové a paralelní uspořádání. Hlavními komponenty jsou spalovací motor, dva synchronní elektromotory s permanentními magnety, dělič výkonu, elektrický měnič a akumulátor. Výkon z děliče poté prochází skrz další převody a diferenciál přímo ke kolům.



Obrázek 10 - Schéma pohonu THS 1. generace v Toyotě Prius [23]

Dělič výkonu, jenž je vlastně planetovým diferencíálem s 2 stupni volnosti, má dva centrální členy. Jedním je planeta s vnějším ozubením, druhým pak korunové kolo s ozubením vnitřním. Mechanický kontakt mezi těmito dvěma členy je realizován skrz satelity, umístěnými na unašeči, obvykle na jehlových ložiscích. Samotný unašeč je pak spojen přímo se spalovacím motorem (na obrázku níže znázorněno červenou barvou). Dále tu pak zbývají dva elektromotory / generátory, z nichž jeden (MG1) má svůj hřídel propojen s planetovým kolem, druhý MG2 je naopak spojen s korunou. Výsledná rychlost poté závisí na otáčkách elektromotoru MG2 (korunového kola), který je dle potřeby podporován spalovacím motorem. [23]

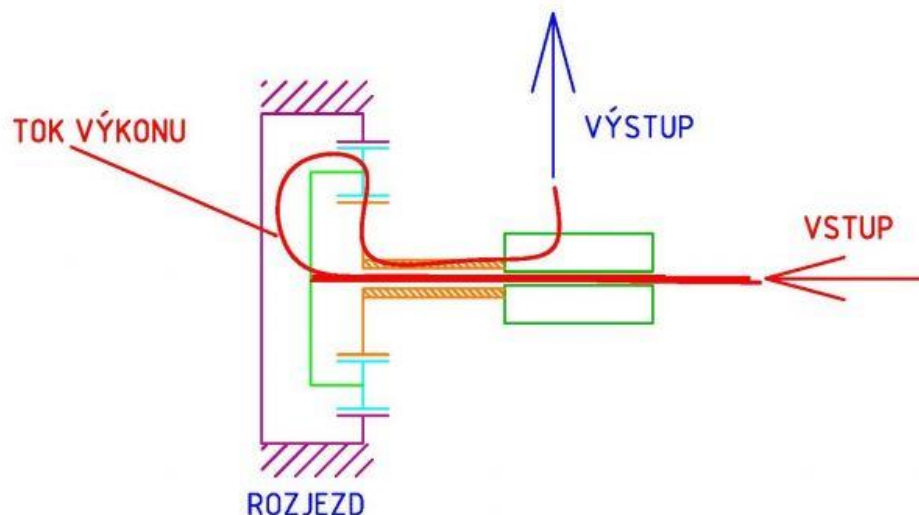


Obrázek 11 - Schéma děliče výkonu [23]

Spalovací motor pracuje v Atkinsonově cyklu, kvůli maximalizaci efektivity jeho provozu. Princip úspory paliva v tomto cyklu tkví v pozdějším uzavření sacího ventilu, jež umožní lehčí pohyb pístu na počátku kompresní fáze (část směsi se vrací do sání). K naplnění válců tedy stačí méně vzduchu. Tato situace vede ke zkrácení kompresní dráhy, což vyústí v lepší účinnost, nižší spotřebu paliva, ale zároveň pokles výkonu. Ve finále se motor dostává do stavu, kdy se na konci expanze tlak na pístu srovnává s tlakem atmosférickým (dobré využití energie).

Vzhledem k tomu, že pro správnou funkci je důležitá precizní regulace, byly motory s tímto cyklem vybaveny proměnným časováním ventilů VVT-i, jež umožňuje při nízkém a středním zatížení pracovat v Atkinsonově cyklu, při vysokém zatížení a volnoběhu zase přepnout na cyklus Ottův, který je pro tyto režimy vhodnější. [23] [24]

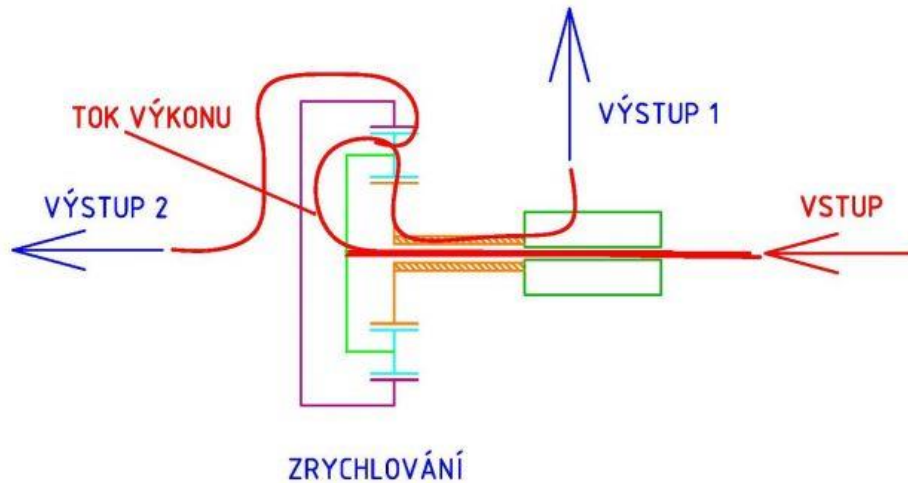
Hybridní systém THS má několik režimů, ve kterých standardně pracuje. Prvním z nich je **rozjezdový**. V této situaci se kola vozu teprve začínají otáčet, tudíž lze uvažovat, že zatím stojí, společně s korunovým kolem. Pokud spalovací motor běží, otáčí unašečem, který skrz satelity pohání planetové kolo s MG1. Z toho (MG1) je poté skrz elektrický měnič poháněn MG2, který uvede vůz do pohybu. Pokud spalovací motor není v chodu, je elektrická energie odebírána z akumulátorů.



Obrázek 12 - Rozjezdový režim [23]

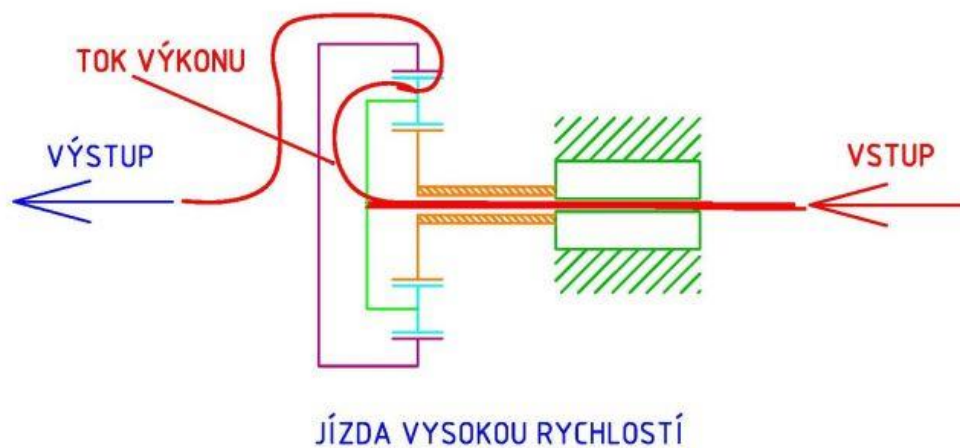
Při **akceleraci** jsou již kola vozu v pohybu a zvyšují své otáčky. To znamená, že se zvyšujícími se otáčkami korunového kola klesají otáčky kola planetového a s ním i otáčky MG1. V tento

moment se výkon dělí na mechanickou a elektrickou cestu. Podíl výkonu přenesený mechanickou cestou (přímo ze spalovacího motoru - paralelně - číslo 1) roste, a naopak se snižuje podíl výkonu přenesený cestou elektrickou (tedy skrze MG1 + MG2 - sériově - číslo 2)



Obrázek 13 - Akcelerační režim [23]

Režim vysoké rychlosti situaci opět lehce pozmění. V této chvíli je již většina výkonu přenášena mechanickou cestou, což znamená, že se již planetové kolo s MG1 téměř neotáčí (nebo jen velmi pomalu). Roli hlavního zdroje výkonu přebírá spalovací motor.



Obrázek 14 - Vysokorychlostní režim [23]

V brzdném (rekuperačním) režimu přestává spalovací motor dodávat výkon a pouze se volně protáčí. Výkon (brzdný) tentokrát putuje opačnou cestou z kol k MG2. Ten se v tuto chvíli stává generátorem a převádí kinetickou energii na elektrickou, která je buď ukládána do

akumulátorů, nebo je použita pro brzdění spalovacího motoru skrze MG1, pokud energii už nelze do baterie uložit (případ nabitého nebo přehřátého akumulátoru). Rekuperační brzdový režim může být zvolen i manuálně na voliči jízdního režimu, což je vhodné především pro snížení namáhání brzdových komponent, které se tak opotřebovávají o dost pomaleji. Elektronický brzdový režim může být však použit pouze do určité minimální rychlosti, vzhledem k jeho malému účinku v nízkých rychlostech. K úplnému zastavení vozidla je tedy nutno použít standardní brzdy.

EV režim, režim s využitím pouze elektrické energie, je realizován s pomocí MG2. Spalovací motor je zastaven, spolu s ním i unašeč a MG1 se v tento okamžik jen protáčí. EV režim je možno použít do doby, než je vyčerpáno 40 % kapacity akumulátoru. Poté je opět spuštěn spalovací motor, aby se zamezilo vybíjení baterií pod 60 % jejich kapacity, kvůli zachování životnosti článků.

Couvací režim je zde vyřešen naprosto odlišně než u běžného vozu. Místo dalších mechanických komponent se pouze přepóluje MG2, čímž dojde k otáčení v opačném smyslu, než při jízdě vpřed. Nutností je ovšem dostatečně nabitý akumulátor. [23]

Převodové ústrojí je Toyotou nazýváno jako Electrically Controlled Variable Transmission (ECVT - v překladu: elektricky řízená převodovka s proměnným převodem). Ve své podstatě je funkce převodovky stejná jako u standardní CVT převodovky, s tím rozdílem, že plynulé změny převodového poměru zde není dosaženo pomocí pásu (řemenu / řetězu) a kuželových elementů, nýbrž díky užití planetového děliče společně s elektromotory, jejichž změnou otáček dochází právě ke změně celkového převodového poměru. Jinými slovy si elektromotory dokáží „vytvořit“ takový převodový poměr, jaký je aktuálně potřeba. [23]

Vývoj systému THS / HSD

Mechanickou funkci systému THS jsem rozebral v článku výše. Přesto, že už je na světě 4. generace tohoto hybridního systému, změny mezi jednotlivými generacemi (ve smyslu funkce) nejsou velké. Většinou se jedná o změny použitých komponent, či úpravy stávajícího řešení. V následujících odstavcích shrnu stěžejní vývojové změny, které tento systém do dnešních dnů prodělal. Jako reprezentativní jsem zvolil model Toyota Prius.

7.1.1 První generace - THS I (1997 - 2003)

První generace systému THS byla poprvé sériově implementována právě ve voze Toyota Prius v roce 1997. Tento systém (hybridní převodovka P111) užívá ve svém převodovém soustrojí řetězový převod, jenž spojuje hřídel, na kterém je nalisován MG2 (korunové kolo) s převodovým mechanismem spojeným přímo s koly. V této generaci ještě také nebyl u měniče napětí použit tzv. „boost konvertor“, jehož úkolem bylo zvyšovat napětí nad hodnotu napětí akumulátoru. Výsledkem bylo, že vozy s tímto systémem nebylo vhodné používat v hornatém terénu nebo je přetěžovat, jelikož po vypotřebování energie z baterií systém nezvládal tak rychle akumulátor znovu dobít.

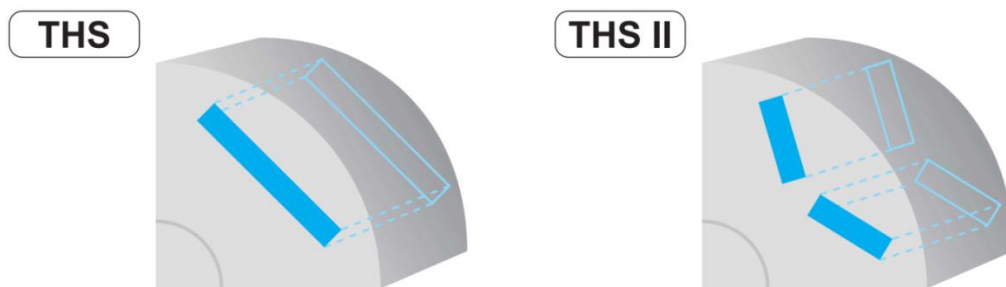
V prvních modelech (do roku 2001) byly použity jako akumulátory Ni - MH články staršího typu D - Cell. Celkově akumulátor obsahoval 40 modulů po 6 článcích s celkovým napětím 288 V a jeho kapacita byla 1,73 kWh. Oba motorgenerátory (MG1 i MG2) dosahovaly výkonu kolem 30 kW, z nichž pohonný MG2 vykazoval točivý moment 305 Nm, zatímco MG1 přibližně desetinu této hodnoty. Hodnota maximálních otáček 6500 1/min byla opět pro oba shodná. 4válcový spalovací motor o objemu 1,5 litru s maximálním výkonem 43 kW při otáčkách 4000 1/min dokázal poskytnout točivý moment 102 Nm.

V roce 2001 však pohonný systém prodělal drobná zlepšení. Akumulátory typu D - Cell byly nahrazeny prismatickými a celý bateriový pack byl nepatrně upraven. Nový akumulátor měl 38 modulů stále po 6 článcích, což znamenalo snížení napětí na 273,6 V. Naopak kapacita lehce vzrostla, a to na 1,78 kWh. U elektromotoru MG2 byl navýšen výkon na 33 kW s točivým momentem 350 Nm a spalovací motor dostal sníženou kompresi. Přesto jeho výkon vzrostl na 53 kW při otáčkách 4500 1/min společně s točivým momentem, jenž byl nyní 110 Nm. Udávaná kombinovaná spotřeba činila 5,1 l na 100 km. [34] - [25] [29] [30] [31] [33]

7.1.2 Druhá generace - THS II (2003 - 2010)

Druhý evoluční krok - THS II s převodovým mechanismem P112 byl konstrukčně velice podobný tomu předcházejícímu. Přesto však celý systém doznal velkých změn. První velkou změnou bylo přidání již zmiňovaného „boost konvertoru“, který umožnil zvýšení napětí na 500 V, a tedy použití mnohem výkonnějšího elektromotoru MG2 o výkonu 50 kW s točivým

momentem 400 Nm. Zvýšení točivého momentu dopomohla změna konstrukce rotoru. Magnety byly rozmístěny do tvaru V, což zlepšilo úhel mezi magnetickým polem statoru a magnety. Zvýšení napětí zároveň přineslo menší ztráty v síti. S těmito úpravami získaly elektromotory jeden z nejlepších poměrů váhy k výkonu. U MG1 byly pak zvýšeny maximální otáčky na 10000 1/min, výkon zůstal zachován. [40]



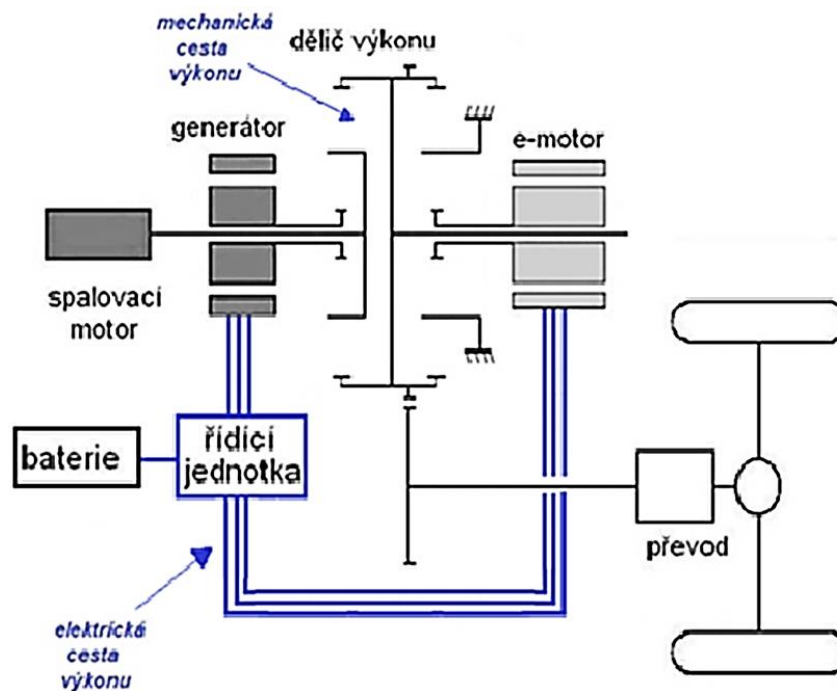
Obrázek 15 - Uspořádání magnetů v rotoru [29]

Zlepšení zaznamenaly i akumulátory. Byl snížen jejich vnitřní odpor použitím lepších materiálů elektrod společně s kompletně přepracovaným systémem propojení článků. Tím bylo dosaženo lepší hustoty výkonu. Toyota uvádí až o 35 %. [29] Použitý akumulátor byl opět složen z modulů o 6 článcích, tentokrát jich však bylo pouze 28. Celkové napětí akumulátoru poté bylo 201,6 V a kapacita 1,31 kWh.

Z dalších změn je třeba zmínit celkové odlehčení konstrukce a konverzi kompresoru klimatizace s posilovačem řízení na elektřinu. Daná opatření lehce snížila spotřebu paliva, ale hlavně dovolila komponentám fungovat nezávisle na provozu spalovacího motoru (stále 4válec s objemem 1,5 litru), jehož výkon opět o něco vzrostl. Konkrétně na 57 kW při otáčkách 5000 1/min s točivým momentem 115 Nm. Úpravou prošel i celkový převodový poměr, ale pouze na „periferních“ převodech (nikoliv na planetovém děliči). Udávaná spotřeba s touto konfigurací byla 4,3 l na 100 km. [28] - [25] [29] [35]

7.1.3 Třetí generace - THS III (2010 - 2015)

V této generaci došlo k zásadní změně v i převodovém mechanismu (P410). Byl odstraněn řetězový převod a nahrazen ozubeným soukolím. Motorgenerátor MG2 byl připojen přes druhé planetové soukolí se zastaveným unašečem, avšak funkce planetového děliče prvního soukolí zůstala zachována.



Obrázek 16 - Schéma pohonného systému THS III [9]

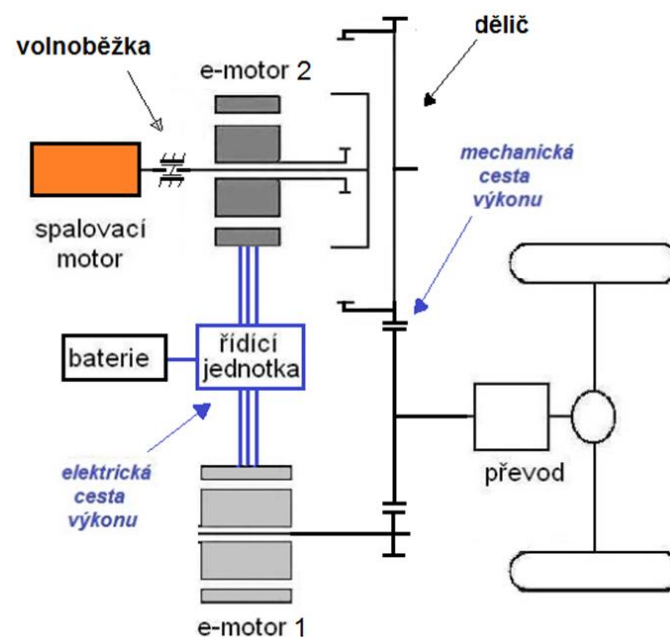
Elektromotory se podařilo odlehčit průměrně o 20 % [9] a opět zvýšit jejich výkon. MG1 tak získal výkon 42 kW, MG2 60 kW. Maximální otáčky obou nyní dosahovaly hodnoty 13500 1/min. Točivý moment byl však u MG2 snížen na 207 Nm. Provozní napětí bylo zvýšeno na 650 V.

Objem spalovacího motoru byl zvýšen z hodnoty 1,5 litru na 1,8 litru. To s sebou neslo i zvýšení výkonu na 73 kW dosahovaných při otáčkách 5200 1/min s točivým momentem 142 Nm. Dále byl přidán nový systém chlazené recirkulace výfukových plynů, jenž přinesl další optimalizaci spotřeby a zasloužil se i o snížení hodnot emisí. Model Prius s touto generací THS tak ve své době s rezervou splňoval normu Euro 5 (kombinovaná spotřeba 3,9 litru na 100 km a emise CO₂ 89 g/km). [28]

S touto generací THS se už objevila i plug - in hybridní verze. Ta byla osazena novými akumulátory Li - ion (oproti běžné hybridní verzi s Ni - MH 1,31 kWh - parametrově stejné jako v THS II), které umožnily vozidlo nabíjet i z veřejné sítě. Hlavní benefit však setrval ve skutečnosti, že akumulátor měl mnohem větší kapacitu (4,4 kWh - 207,2 V, 2 moduly po 28 článcích), díky níž bylo možno ujet v čistě elektrickém režimu až 18 km (verze s Ni - MH cca 2 km). [37] - [9] [25] [28] [36] [39]

7.1.4 Čtvrtá generace - THS IV (2015 - dnes)

Poslední (aktuální) generace systému THS (převodový mechanismus P610) přinesla opět spoustu změn. Druhé planetové soukolí z generace THS III bylo nahrazeno řetězcem ozubených kol a motorgenerátor MG2 byl přemístěn mimo planetový dělič právě k tomuto řetězci. Dále byla implementována volnoběžka ke spalovacímu motoru, což umožnilo motorgenerátoru MG1 (který byl dosud používán pouze jako startér, generátor, případně „modifikátor“ převodového poměru) stát se pohonnou jednotkou stejně jako MG2, aniž by otáčel spalovacím motorem v opačném směru. Další funkcí volnoběžky je též tvorba reakčního momentu na unašeči, který v případě pohonu oběma motorgenerátory slouží jako převod. Dále byl znovu modifikován koncový převodový poměr a plug - in hybridní verze dostala elektrické olejové čerpadlo pro případ delší jízdy v EV režimu.



Obrázek 17 - Schéma pohonného systému THS III [9]

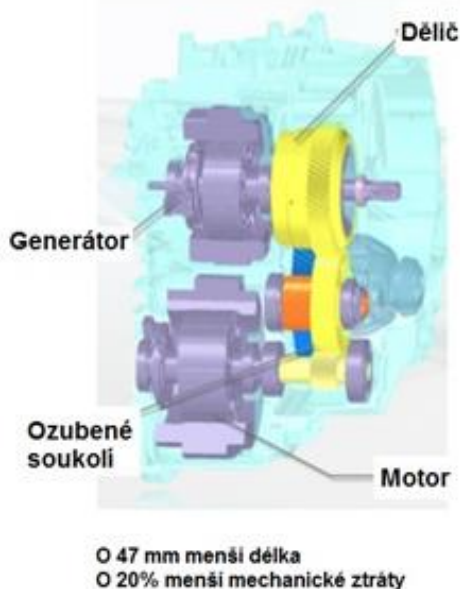
Výkon obou elektromotorů klesl. U MG1 byl snížen o 19 kW (na 23 kW a 40 Nm), u MG2 o 7 kW (na 53 kW a 163 Nm). Napájecí napětí se ustálilo na 600 V. Razantního nárůstu se však dočkaly maximální otáčky obou motorgenerátorů, jež nyní dosahují hodnoty 17000 1/min.

V této generaci je u modelu Prius již možná volba druhu pohonných akumulátorů. Na výběr je mezi články Li - ion a staršími Ni - MH. Ni - MH akumulátory mají již tradičně kapacitu 1,31 kWh (i ostatní parametry shodné s předchozí generací), přestože má akumulátor mít celkově

nepatrně nižší váhu i menší rozměry. Li - ion akumulátor je složen z 56 článků, uspořádaných do dvou modulů po 28. Celkové napětí je 207,2 V a kapacita 0,75 kWh. K dispozici je též nová plug - in hybridní verze s 95 Li - ion články v 5 modulech s napětím 351,5 V. U té je kapacita 8,8 kWh, jež by měla postačit k 40 - 50 km dojezdu v EV režimu. [9] [41] [42] [43]

Kompletní systém dosahuje až o 20 % nižších mechanických ztrát společně s celkovým snížením váhy jak hybridní převodovky, tak spalovacího motoru. Ten je navíc kompaktnější a díky vysokoobjemovému systému recirkulace spalin (EGR), vylepšené kontrole klepání a zvýšené účinnosti spalování, dosahuje o 1,5 % vyšší [27] celkové termické účinnosti (40 %) než spalovací agregát v předchozí generaci. Přepracovány byly též sací porty společně se systémem chlazení pro rychlejší ohřev studeného motoru a použit byl olej s nižší viskozitou. Výkon byl nepatrně snížen na 72 kW při otáčkách 5200 1/min, točivý moment změnil nedoznal (142 Nm). [38] Toyota deklaruje, že snížena byla hmotnost i rozměry téměř všech komponent hybridního pohonu (včetně řídicích jednotek), ačkoliv dosahují vyšší účinnosti. Udávaná kombinovaná spotřeba posledního modelu Prius je nyní 3,6 litru na 100 km. [44]

Toyota Hybrid Systém IV



Obrázek 18 - THS IV [9]

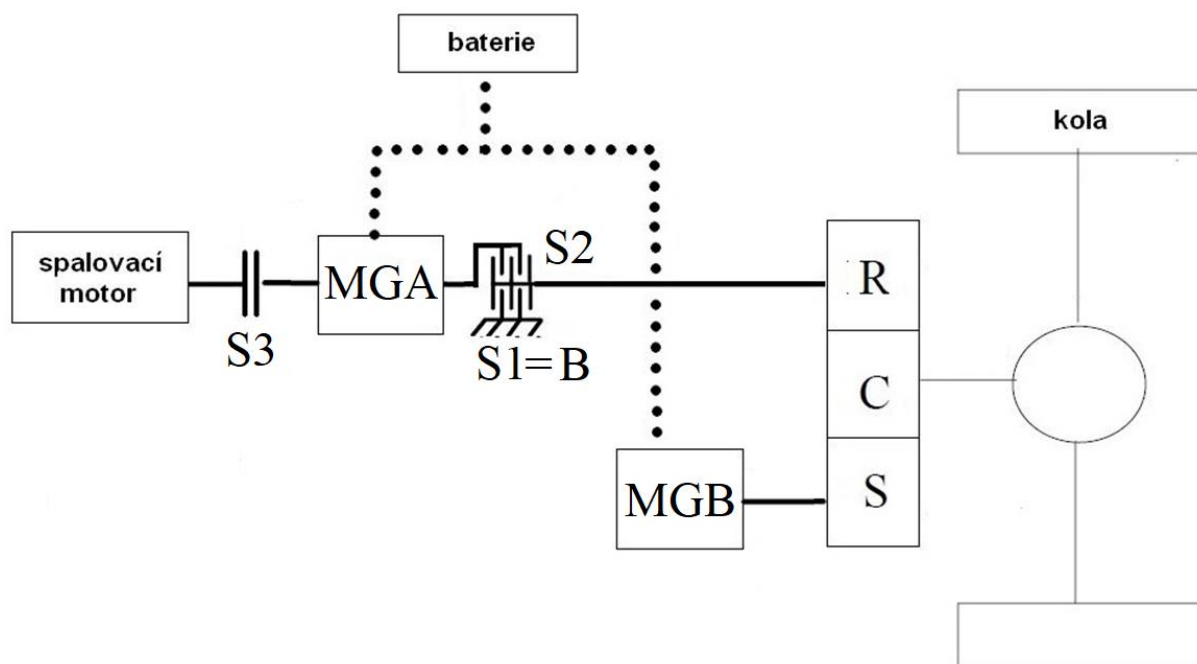
Důležitou novinkou, kterou třeba zmínit, je fakt, že Toyota nabízí také verzi s pohonem všech kol - Systém E - Four. Ten obsahuje další elektromotor umístěný na zadní nápravě (pozice P4). Zavazadlový prostor není touto úpravou ovlivněn. [9] [25] [38]

7.2 General Motors - Voltec

V roce 2010 vyvinula americká společnost General Motors první generaci svého hybridního systému s názvem Voltec. Jednalo se o hybridní systém s možností funkce v sériovém i paralelním hybridním režimu. Do dnešních dnů byly představeny 2 generace toho systému, jež první z nich byla implementována do vozů Chevrolet Volt (Opel Ampera / Holden Volt / Vauxhall Ampera) a Cadillac ELR. Druhá generace byla uvedena v roce 2016 a je obsažena opět v modelu Chevrolet Volt 2. Generace, Chevrolet Malibu Hybrid a Cadillac CT6 Plug - in Hybrid. Pro mé účely jsem jako reprezentativní model zvolil Chevrolet Volt.

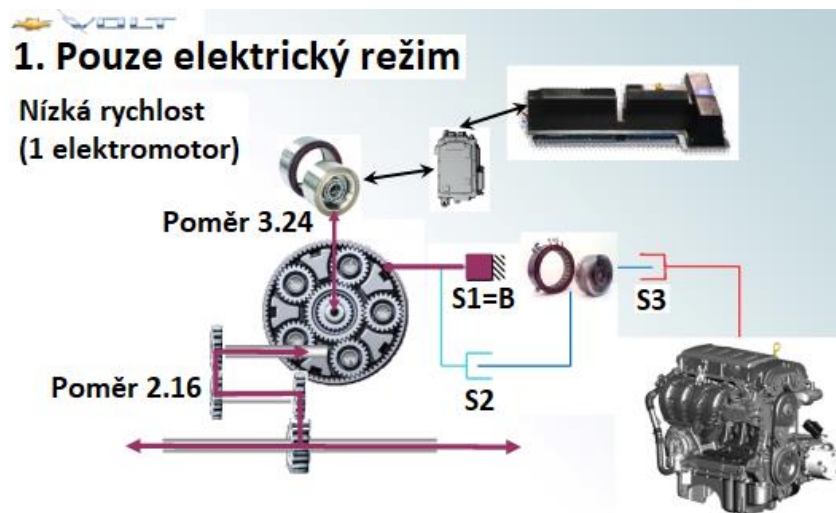
7.2.1 Voltec I - 1. Generace - 4ET50 (2010 - 2016)

První generace tohoto hybridního systému využívá kombinaci 2 motorgenerátorů (MGA - též funkce startéru a MGB), spalovacího motoru (ten zde slouží především jako pohonný agregát pro elektromotor MGA), akumulátoru Li - ion, 3 spojek (respektive 2 spojky a 1 brzda), planetového soukolí a elektrického měniče. Systém funguje v rámci 4 režimů, z nichž 2 jsou čistě elektrické a zbylé 2 hybridní. Regenerativní brzdění je možné v každém z nich.



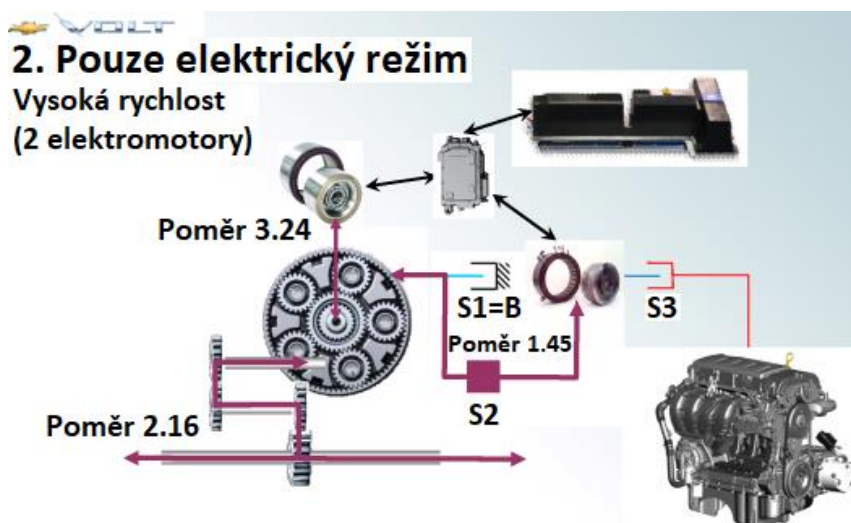
Obrázek 19 - Schéma pohonného řetězce Voltec I [53]

Prvním z nich je EV režim s použitím hlavního elektromotoru MGB (111 kW, 370 Nm, max. 9500 1/min). Spojka (brzda) S1 je sepnuta a drží korunové kolo uzamčené. Spojky S2 a S3 rozepnuté. Výkon elektromotoru spojeného s planetovým kolem proudí rovnou na poháněnou nápravu skrz unašeč s planetami a koncový převod. Tento režim je aktivní v rychlostech 0 - 64 km/h.



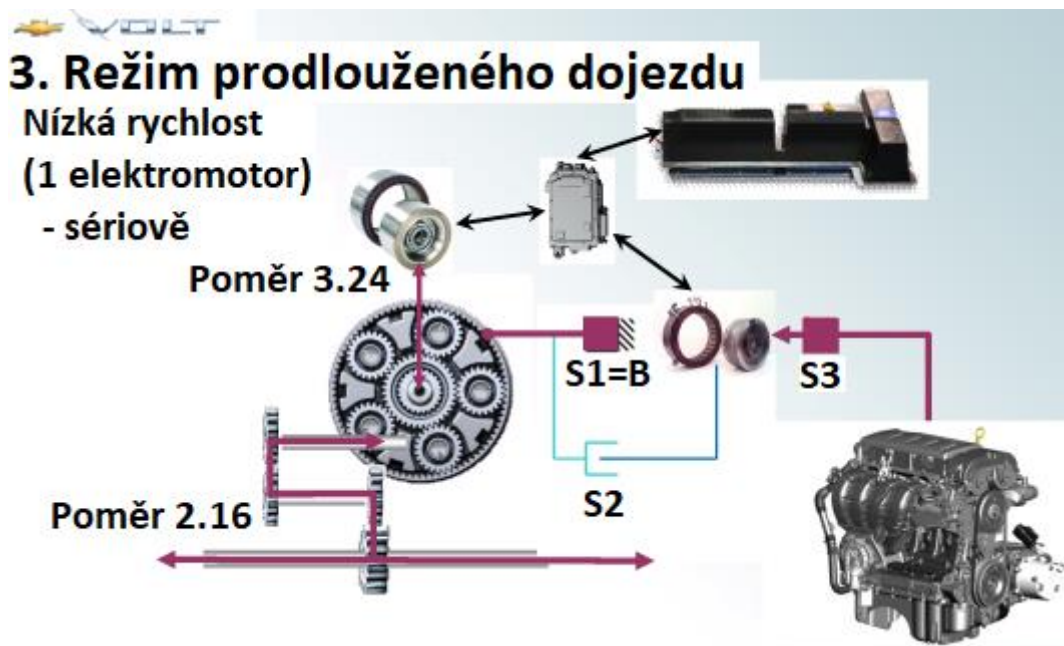
Obrázek 20 - První režim - EV - 1 elektromotor [46]

Druhým je EV režim s použitím obou elektromotorů (MGB + MGA 55 kW, 200 Nm, max. 6000 1/min). Spojky S1 a S3 jsou rozepnuty, spojka S2 sepnuta. To umožní motorgenerátoru MGA, připojenému na korunové kolo, se podílet na pohonu vozu a upravovat celkový převodový poměr. Tento režim je aktivován v rychlostech nad 64 km/h. [46] [50] [53] [54]



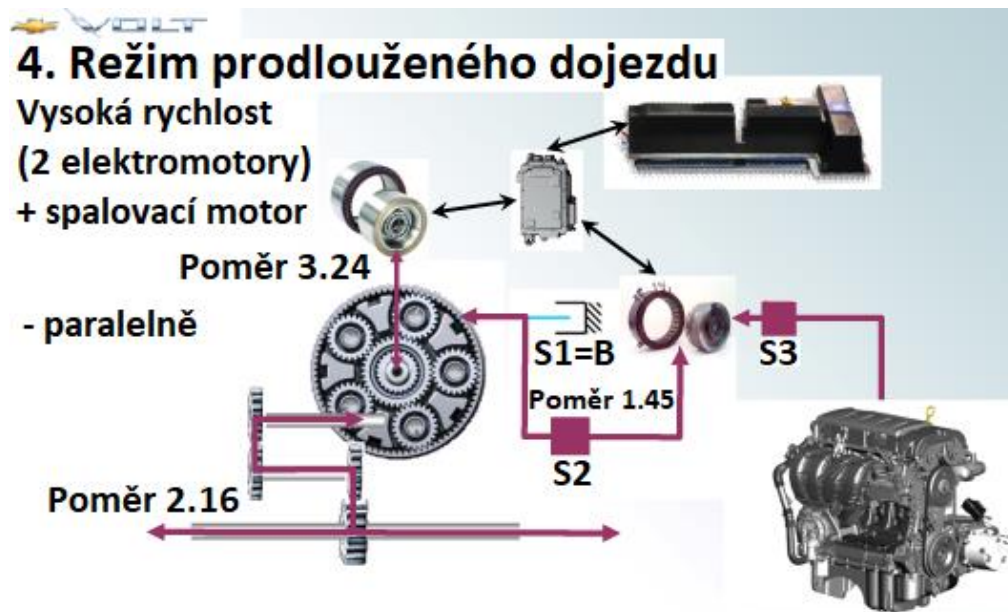
Obrázek 21 - Druhý režim - EV - 2 elektromotory [46]

Třetí režim je hybridní (sériový) a je aktivován, když v akumulátoru zbývá přibližně 35 % z jeho maximální kapacity. Spojka S1 je opět sepnuta a zastavuje pohyb korunového kola. S2 je rozepnuta, S3 sepnuta. Spalovací motor je spuštěn a pohání motorgenerátor MGA. Ten poté zásobuje energií trakční motor MGB a zároveň dobíjí akumulátor. Ve většině případů motorgenerátor MGA dokáže bez větších problémů dodávat dostatek energie pro oba tyto účely, což dovolí vozu pokračovat v jízdě bez nutnosti zastavit, nebo dobíjet akumulátor externě.

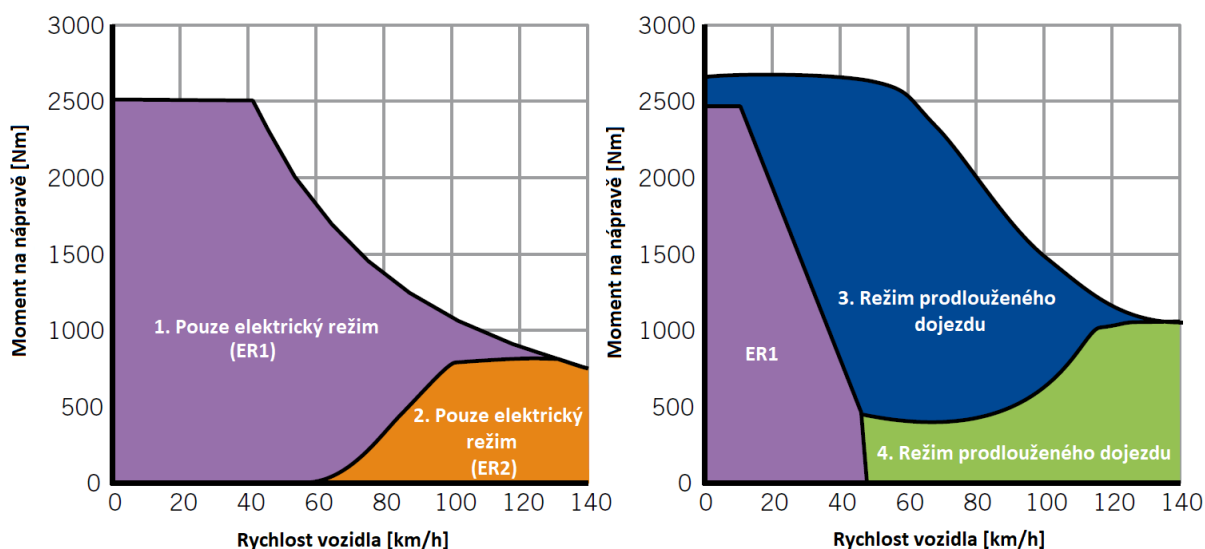


Obrázek 22 - Třetí režim - hybridní (sériový) [46]

Čtvrtý režim je opět hybridní (paralelní) a je využíván při vyšší rychlosti (zátěži), pokud není v baterii dostatek energie. Spojka S1 je rozepnuta, spojky S2 a S3 sepnuty. To umožňuje vozidlo pohánět kombinací obou elektromotorů i spalovacího motoru a zároveň dobíjet akumulátor. GM tento režim nazývá "kombinovaným" a udává, že v ustálené rychlosti umožňuje zlepšení účinnosti o 10 - 15 %, než kdyby vozidlo poháněl pouze jeden elektromotor. [46] Samotným spalovacím motorem však systém být poháněn nemůže. Trakční elektromotor MGB musí být aktivní ve všech režimech. [46] [53]



Obrázek 23 - Čtvrtý režim - hybridní (paralelní) [46]



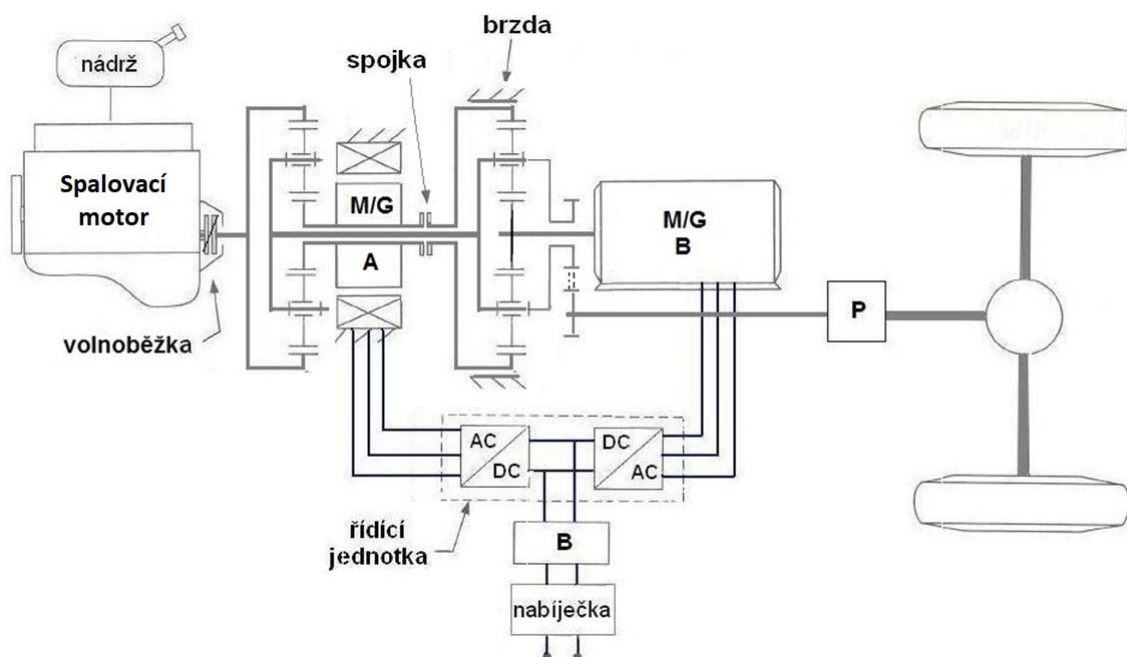
Graf 3 - Jednotlivé režimy systému Voltec I (vlevo čistě elektrické, vpravo hybridní) [45]

Oba motorgenerátory jsou synchronní stroje s permanentními magnety, ale pouze MGB má magnety uspořádané do tvaru V, jako v případě systému THS. 4válcový spalovací motor o objemu 1,4 litru dosahuje výkonu 63 kW při otáčkách 4800 1/min s točivým momentem 130 Nm, nevyužívá však Atkinsonův cyklus, ale standardní Ottův. [55] Jako akumulátor zde slouží 288 článků Li - ion uspořádaných do 3 bloků (spojených paralelně) po 96 člancích s celkovým napětím 355,2 V a kapacitou 16 kWh (využitelných cca 10,5 kWh), jež by měla vystačit na 60 km jízdy v čistě elektrickém režimu. Udávaná kombinovaná spotřeba paliva je 1,6 litru na 100 km. [48] - [47] [55] [56] [58]

7.2.2 Voltec II - 2. Generace - 5ET50 (2016 - dnes)

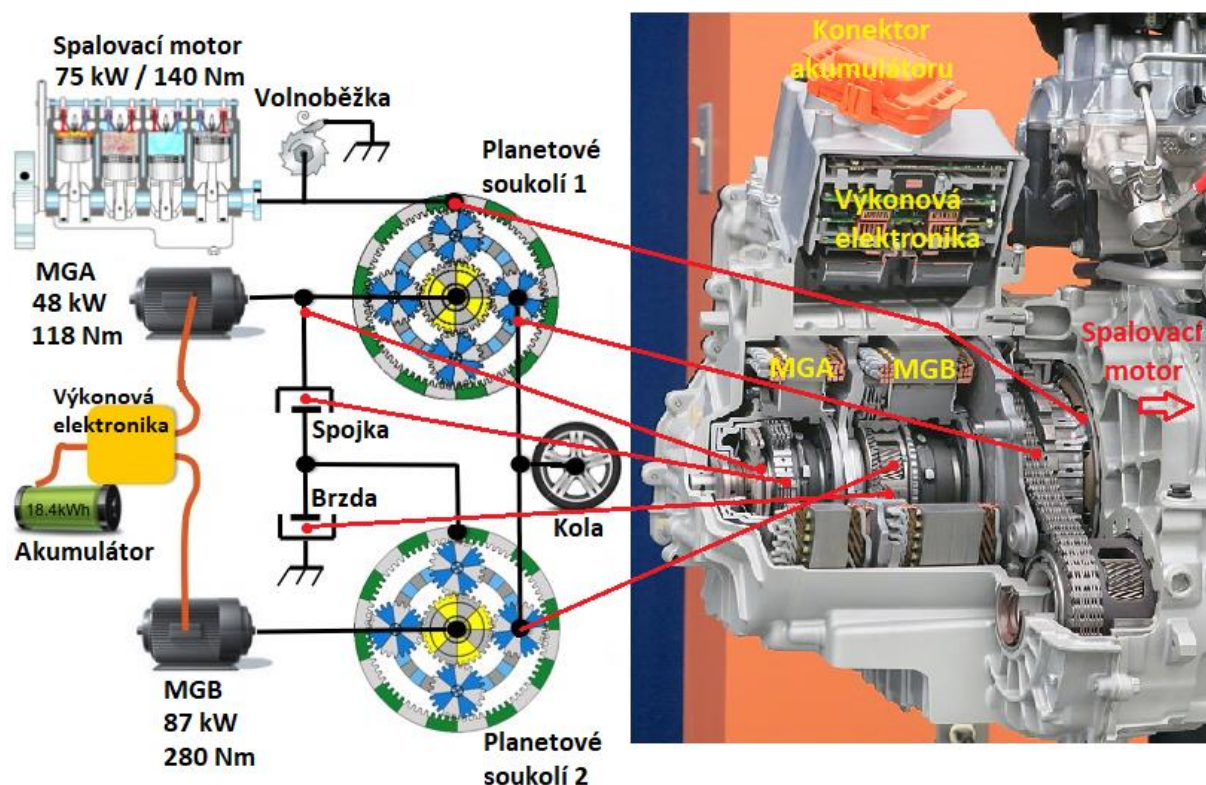
Druhá generace systému Voltec s sebou nesla spoustu změn. Při jeho navrhování byla stěžejní informace, která byla získána na základě zkušeností zákazníků s předchozím systémem Voltec I, a to, že 74 % denních tras (v průměru 66 km) bylo ujeté v čistě elektrickém režimu. Jedním z cílů se tedy stalo, aby nová generace byla v tomto režimu schopna absolvovat o 30 % větší vzdálenost.

Hlavní změnou je použití dvou planetových soukolí místo původního jednoho. Oba motorgenerátory (stále PMSM) MGA i MGB jsou připojeny na planetová kola jednotlivých planetových děličů (každý k vlastnímu) a přesto, že mají oba lehce snížený výkon (MGA - 48 kW, 118 Nm a MGB 87 kW, 280 Nm), těží nová verze především z benefitu jejich o 40 % nižší váhy a o 20 % menších rozměrů. [57] Magnety motorgenerátoru MGA byly z původních neodymových nahrazeny feritovými. Dále nová koncepce obsahuje spojku, brzdu a volnoběžku. Ta je umístěna před spalovacím motorem a zabraňuje jeho otáčení opačným směrem společně s korunovým kolem prvního planetového soukolí. Unašeče obou planetových děličů jsou spojeny a přenášený výkon putuje k poháněné nápravě skrze řetězový převod. V rámci kompaktности systému byl také měnič napětí přemístěn přímo do hybridní převodovky. Celý převodový agregát finálně snížil svou váhu o 45 kg na celkových 119 kg.



Obrázek 24 - Schéma pohonného řetězce Voltec II [9]

Parametry akumulátoru byly (dle původního požadavku) upraveny a nový model má 192 článků Li - ion uspořádaných do 2 hlavních bloků po 96 článcích s celkovým napětím 355,2 V a kapacitou 18,4 kWh (užitná kapacita 14 kWh). Vzrostla také jeho hustota energie z 87 Wh/kg na 101 Wh/kg. S novým akumulátorem by měl být vůz schopen absolvovat cca 85 km pouze na elektřinu. [58] [64]

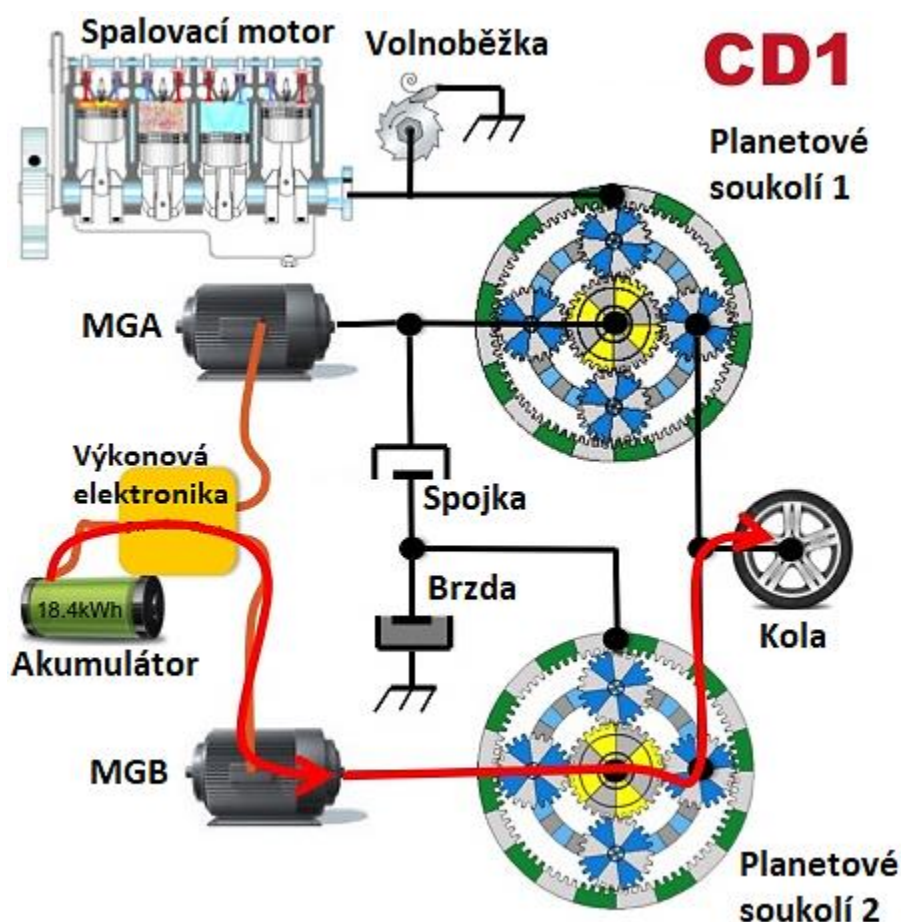


Obrázek 25 - Systém Voltec II [63]

Vylepšení se dočkal také spalovací motor, jenž změnil své parametry na 1,5 litru objemu s výkonem 75 kW při otáčkách 5600 1/min. Točivý moment vzrostl na 140 Nm. Hlava i blok motoru jsou ze slitiny hliníku, tudíž je agregát také výrazně lehčí. Důležitou skutečností je, že oproti první generaci pracuje v Atkinsonově cyklu. [60] [64] [80]

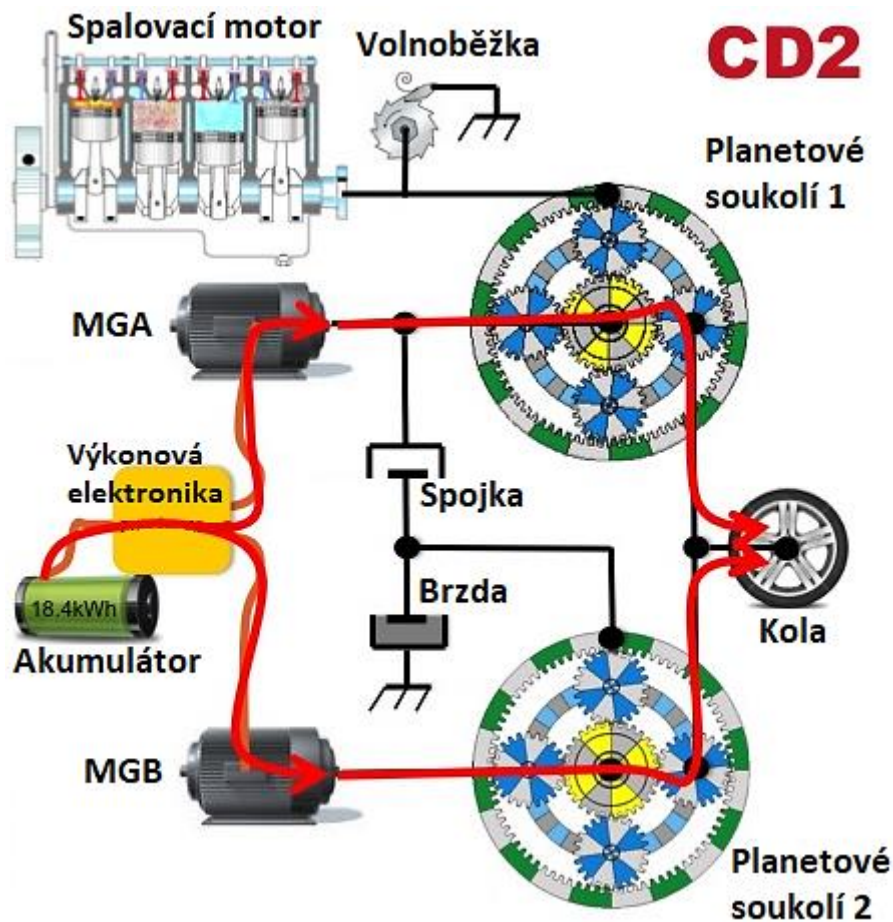
Systém Voltec II má opět několik pracovních režimů, tak jako měl i systém předchozí generace. Celkově jich je 5, z nichž 2 jsou čistě elektrické a zbylé 3 hybridní.

Prvním je EV režim s použitím pouze elektromotoru MGB (označován jako CD1). Spojka je rozepnuta, brzda sepnuta, což zastavuje korunové kolo druhého planetového soukolí a umožňuje pohon nápravy s pevným převodem. Režim je aktivní, pokud je v baterii dostatek energie a postačují nižší a střední hodnoty točivého momentu, při kterých je MGB efektivnější. Použit je také v případě jízdy vzad. [9] [51] [63]



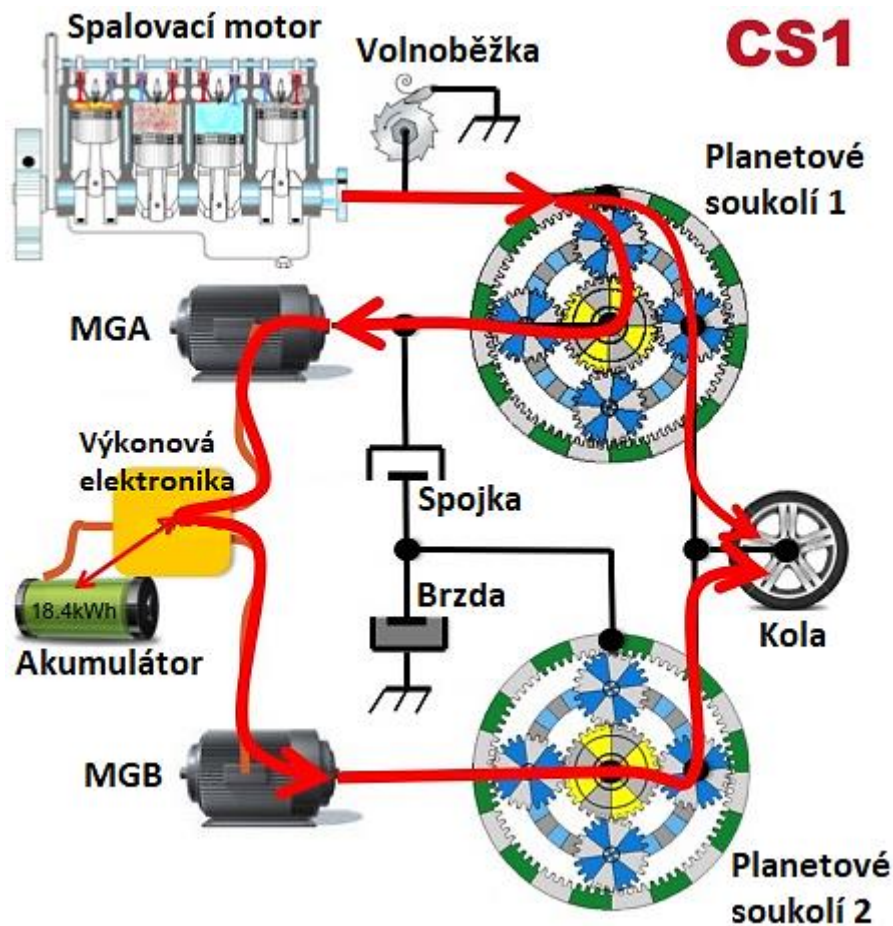
Obrázek 26 - Schéma EV režimu CD1 [63]

Druhým je EV režim s použitím obou elektromotorů MBA i MGB (CD2). Spalovací motor stále neběží. Tento režim je aktivován v situacích, kdy je potřeba přenést na nápravu vysoký točivý moment a baterie má stále dostatek energie. Spojka i brzda setrvávají ve stejném stavu a svou funkci nyní plní i volnoběžka, která blokuje korunové kolo prvního planetového soukolí a dovoluje motorgenerátoru MGA se podílet na pohonu. Vzhledem k rozdílným převodovým poměrům na obou planetových soukolích je umožněno využít širšího rozsahu točivého momentu. Oba planetové děliče se v této situaci chovají jako redukční převody. [9] [51] [63]



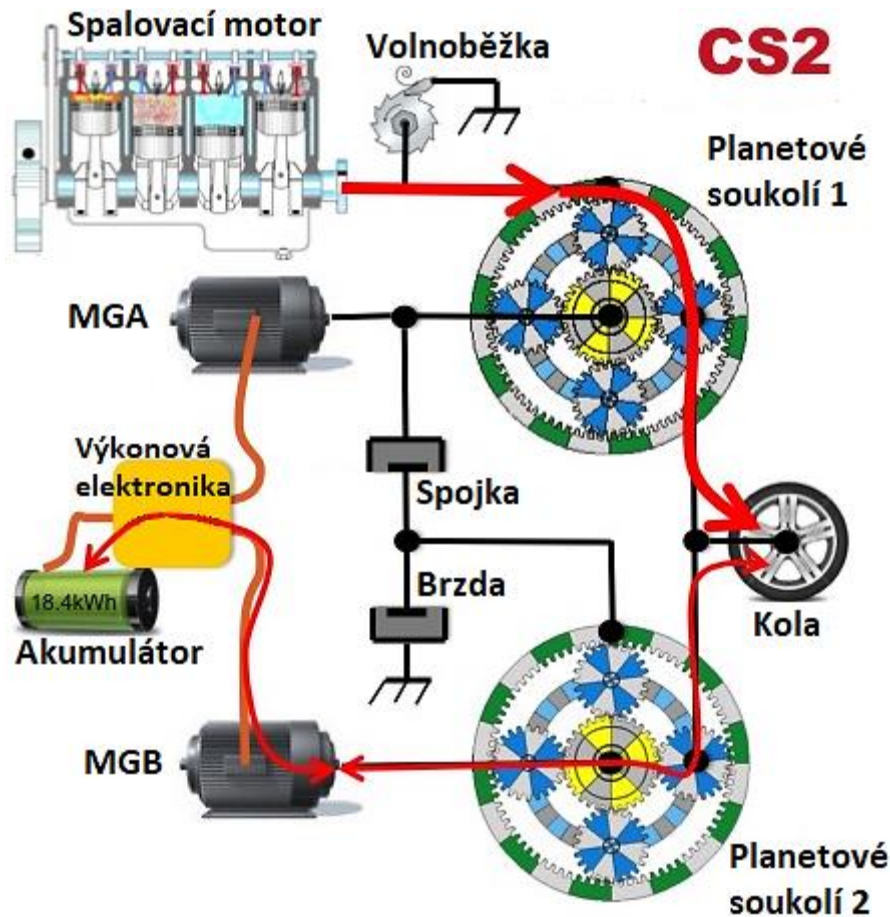
Obrázek 27 - Schéma EV režimu CD2 [63]

Třetím je první z hybridních režimů - dolní hybridní mód (CS1). Spalovací motor je v tomto režimu již spuštěn (volnoběžka se protáčí) a jeho výkon je dělen mezi přímý pohon nápravy a pohon generátoru MGA. Trakční motor MGB pohání nápravu stále skrze druhé planetové soukolí se zastavenou korunou (brzda a spojka stav nezměnily) a zdrojem energie mu je proud, tvořený generátorem MGA. Řízení výkonu elektromotorů poté dovoluje spalovacímu motoru pracovat v režimu nejvyšší efektivity. Tento režim je aktivní v rychlostech 20 - 40 km/h při potřebě nízkého a středního točivého momentu, případně 0 - 60 km/h při vysokém zatížení. Pokud však klesne rychlost i potřeba točivého momentu dostatečně nízko, dojde k přepnutí zpět do režimu CD1. Tento mód nahrazuje méně efektivní, sériový, hybridní režim použitý v první generaci systému Voltec I. Je vhodný pro městský provoz. [9] [51] [63]



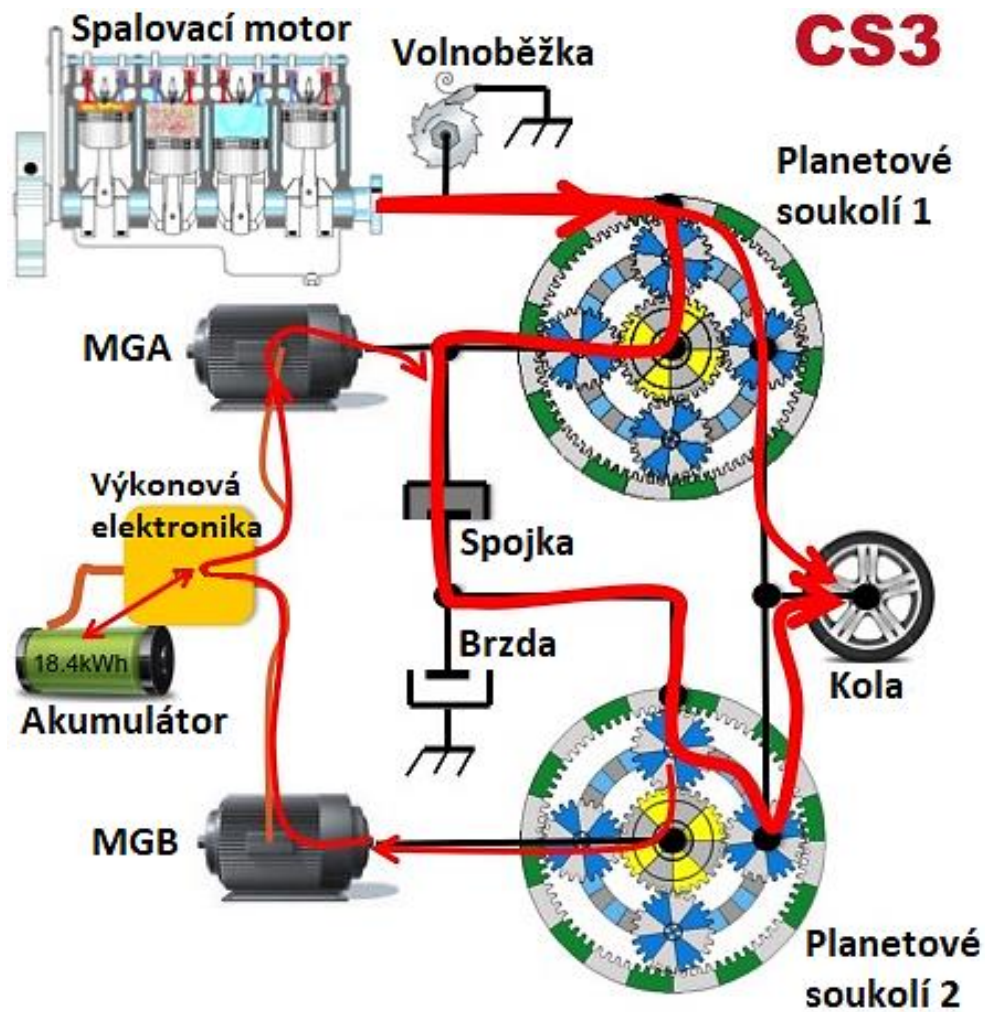
Obrázek 28 - Schéma dolního hybridního módu CS1 [63]

Čtvrtým je hybridní režim s konstantním převodem (CS2). Spojka a brzda jsou sepnuty, což znamená, že je zastaveno planetové kolo prvního děliče spolu s generátorem MGA. Spalovací motor posílá všechnen svůj výkon na hnanou nápravu a v případě potřeby ještě vyššího výkonu je podporován elektromotorem MGB. Pokud nastane situace, kdy by bylo zatížení příliš nízké, přepne se MGB do generátorického režimu a dobíjí akumulátor, čímž je zajištěno zvýšení zátěže spalovacího motoru a tím pádem i jeho návrat do pracovní oblasti s vyšší účinností. Režim je aktivní v rychlostech 40 - 60 km/h s nízkým zatížením, dále pak při 70 - 110 km/h s vysokým zatížením. V tomto režimu dosahuje hybridní systém nejvyšší účinnosti, neboť jsou minimalizovány ztráty při vícenásobné přeměně energie. [9] [51] [63]

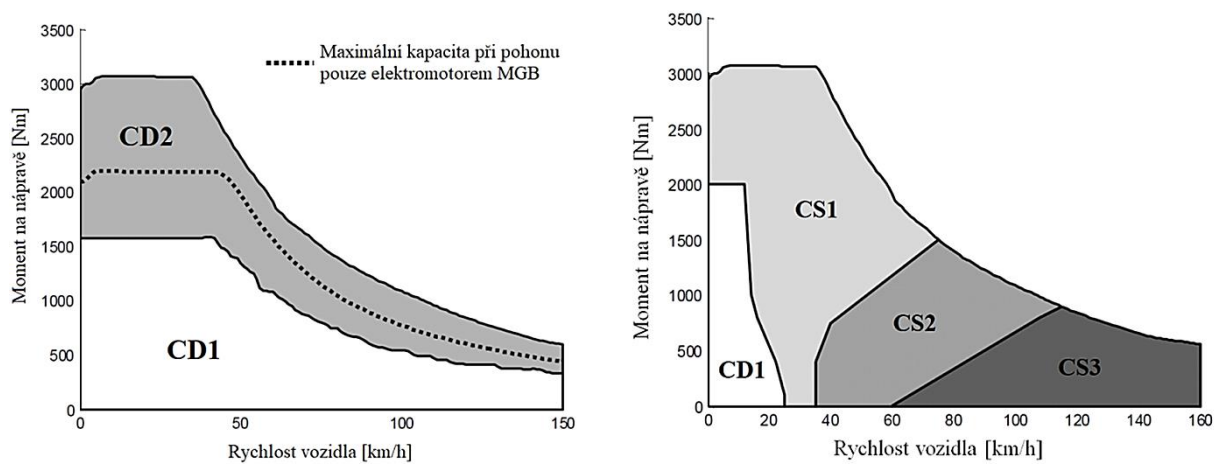


Obrázek 29 - Schéma hybridního režimu s konstantním převodem CS2 [63]

Pátým režimem je poslední hybridní - horní hybridní mód (CS3). Spojka je sepnuta a brzda rozepnuta. Výkon spalovacího motoru je mechanicky rozdělován mezi pohon nápravy a pohon koruny druhého planetového soukolí. Řízením otáček motorgenerátoru MGA a pomalým nebo obráceným otáčením elektromotoru MGB, může být ovládán točivý moment a otáčky spalovacího motoru. V případě regenerativního brzdění je elektrická energie odesílána z MGB do akumulátoru nebo motorgenerátoru MGA. Režim je aktivován při překročení rychlosti 60 km/h s potřebou nízkého točivého momentu, případně 110 km/h s potřebou vysokého točivého momentu. V tomto a v režimu CS1 pracuje převodový mechanismus jako ECVT. [9] [51] [63]



Obrázek 30 - Schéma horního hybridního módu CS3 [63]



Graf 4 - Jednotlivé režimy systému Voltec II (vlevo čistě elektrické, vpravo hybridní) [61]

7.3 Honda - Integrated Motor Assist (IMA)

V roce 1999 představila automobilka Honda svůj hybridní systém Integrated Motor Assist. Jedná se o mild hybridní řešení paralelní koncepce. Hlavními komponenty jsou zde motorgenerátor speciální tenké konstrukce (bezkartáčový stejnosměrný motor - BLDC), akumulátor, řídicí jednotka a spalovací motor. Elektromotor je umístěn mezi motorem a převodovkou na místě, kde je u běžného vozu setrvačnick, a je tedy přímo spojen s klikovou hřídelí. Zde plní funkci elektromotoru, generátoru (alternátoru), startéru a vlastně i setrvačnicku. Pohonný systém bývá spojován většinou s převodovkou CVT, v některých případech i s manuálně řazenou. Jako reprezentativní jsem zvolil model Honda Insight, který měl sice mezi lety 2006 - 2010 pomlku ve výrobě, nic to nemění na tom, že právě on byl prvním modelem s tímto systémem.

IMA je implementován v mnoha modelech a u některých dokonce po několik jejich generací (např. model Civic). Výkon elektromotorů se většinou pohyboval kolem 10 - 20 kW, jako akumulátory sloužily cca do roku 2010 výhradně články Ni - MH, poté začala Honda více používat Li - ion.

Systém má (stejně jako systémy jiných výrobců) několik režimů, v kterých funguje. Je jich celkem 6. **Prvním z nich je případ, při kterém je vozidlo v klidu.** V tomto režimu je spalovací motor zastaven, kvůli snížení spotřeby i produkce emisí. Elektromotor též nepracuje.

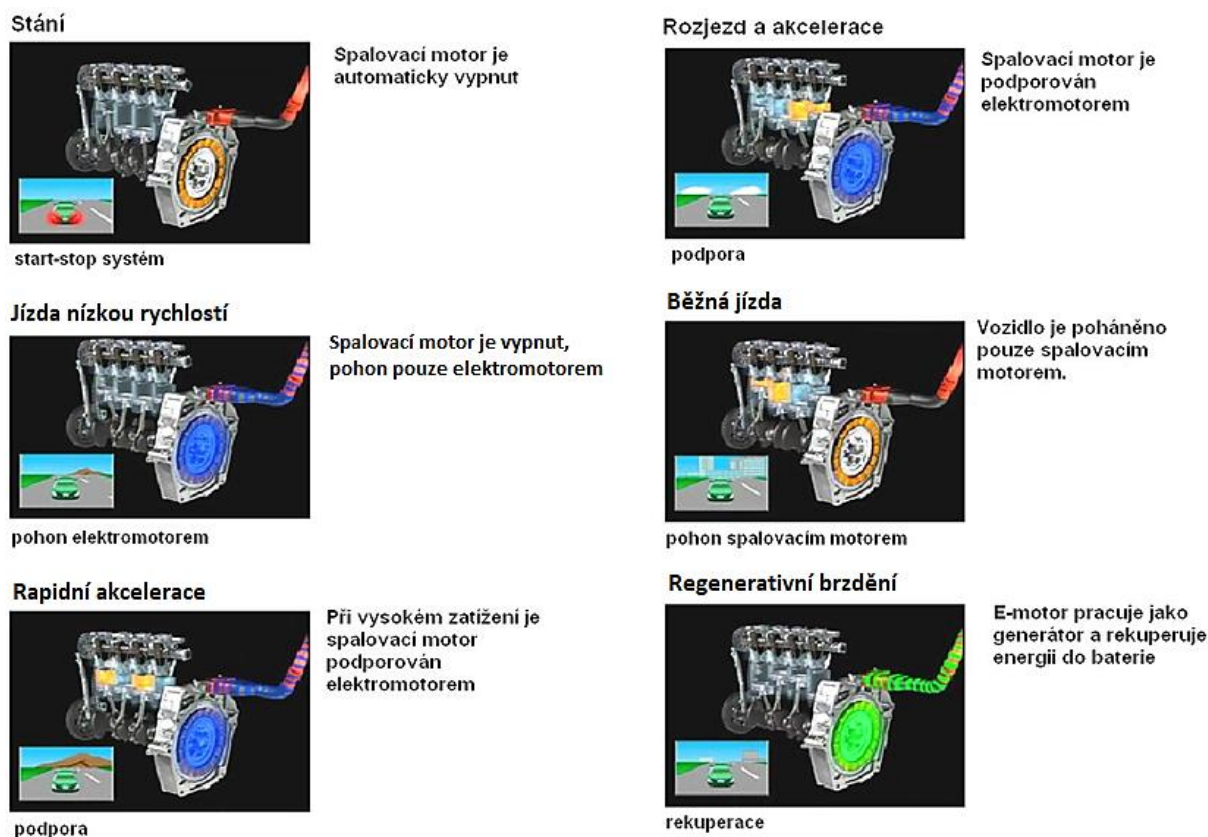
Druhým režimem je rozjezd a akcelerace. Zde spalovací motor běží a je hlavním pohonem vozu. Zároveň je však podporován elektromotorem, který dodává výkon a usnadňuje tak průběh situace.

Třetím režimem je stav, kdy vozidlo jede malou rychlostí a nebo jen velmi zlehka akceleruje. Spalovací motor je v tomto případě vypnut a roli primárního pohonu přebírá elektromotor, jemuž jeho relativně malý výkon v tuto chvíli postačuje.

Ve čtvrtém v režimu běžné jízdy, je spalovací motor opět spuštěn, zatímco elektromotor svou činnost ukončuje. Tento mód je aktivován, když už k pohonu vozu samotný výkon elektromotoru nepostačuje.

Pátým režimem je případ rapidní akcelerace, kdy je spalovací motor opět podporován elektromotorem, čímž dochází ke zvýšení celkového výkonu, zatímco spotřeba i produkce emisí klesne.

Posledním režimem je pak situace regenerativního brzdění, kdy spalovací motor je opět zastaven a díky systému i-VTEC, který uzavírá ventily, není energie spotřebována na čerpání vzduchu skrz válce. Deaktivací válců je omezováno také tření uvnitř válců. To ještě více zvyšuje účinnost rekuperace. [53] [67]



Obrázek 31 - Jednotlivé režimy systému Integrated Motor Assist [67]

7.3.1 Integrated Motor Assist - 1. generace modelu Insight (1999 - 2006)

První generace modelu Insight byla navržena přímo pro hybridní systém IMA. Karoserie s aerodynamickým tvarem, její snižování váhy za použití plastů a hliníku společně s použitím pneu s nižším valivým odporem, dopomohlo podtrhnout celkovou efektivitu pohonného řetězce. Ten (jak již bylo řečeno) obsahuje tenký (60 mm) BLDC motorgenerátor s výkonem 10 kW a točivým momentem 49 Nm. Spojen je se spalovacím motorem, jenž byl vyvinut specificky pro tento systém. Jedná se o 3válec s objemem 1 litr a výkonu 50 kW při otáčkách 5700 1/min. Točivý moment dosahuje 91 Nm. Agregát využívá technologii spalování velmi chudé směsi, systém proměnného časování ventilů i-VTEC, osa klikového

hřídele je posunutá o 14 mm, což zajišťuje, že písty a ojnice tlačí v horní poloze rovnou dolů. To pomáhá minimalizovat ztráty způsobené třením mezi pístem a válcem. [71] Hlavní výhodou tohoto motoru jsou však jeho kompaktní rozměry a především hmotnost (pouze 56 kg). Ta byla díky použití hliníku, hořčíku, speciálních plastů a kovaných ojníc stlačena na minimum. Přesto, že je tento motor spouštěn motorgenerátorem, je vozidlo navíc vybaveno i běžným 12 voltovým startérem pro případ defektu elektromotoru, vybití vysokonapěťového akumulátoru nebo startu v extrémně chladných podmínkách.

Jako akumulátor bylo v tomto případě použito 120 článků typu Ni - MH s celkovým napětím 144 V a kapacitou 0,94 kWh, umístěných pod podlahou zavazadlového prostoru.

Udávaná kombinovaná spotřeba je velmi příjemných 3,4 litru na 100 km. [73] - [20] [53] [68] [70] [71] [72]

7.3.2 Integrated Motor Assist - 2. generace modelu Insight (2010 - 2014)

Druhá generace modelu Insight se od té první výrazně lišila, především díky daleko vyšší váze (1237 kg oproti cca 850 kg). Nutno však podotknout, že předchozí generace byla pouze 2místná, zatímco druhá má již standardně 5 míst.

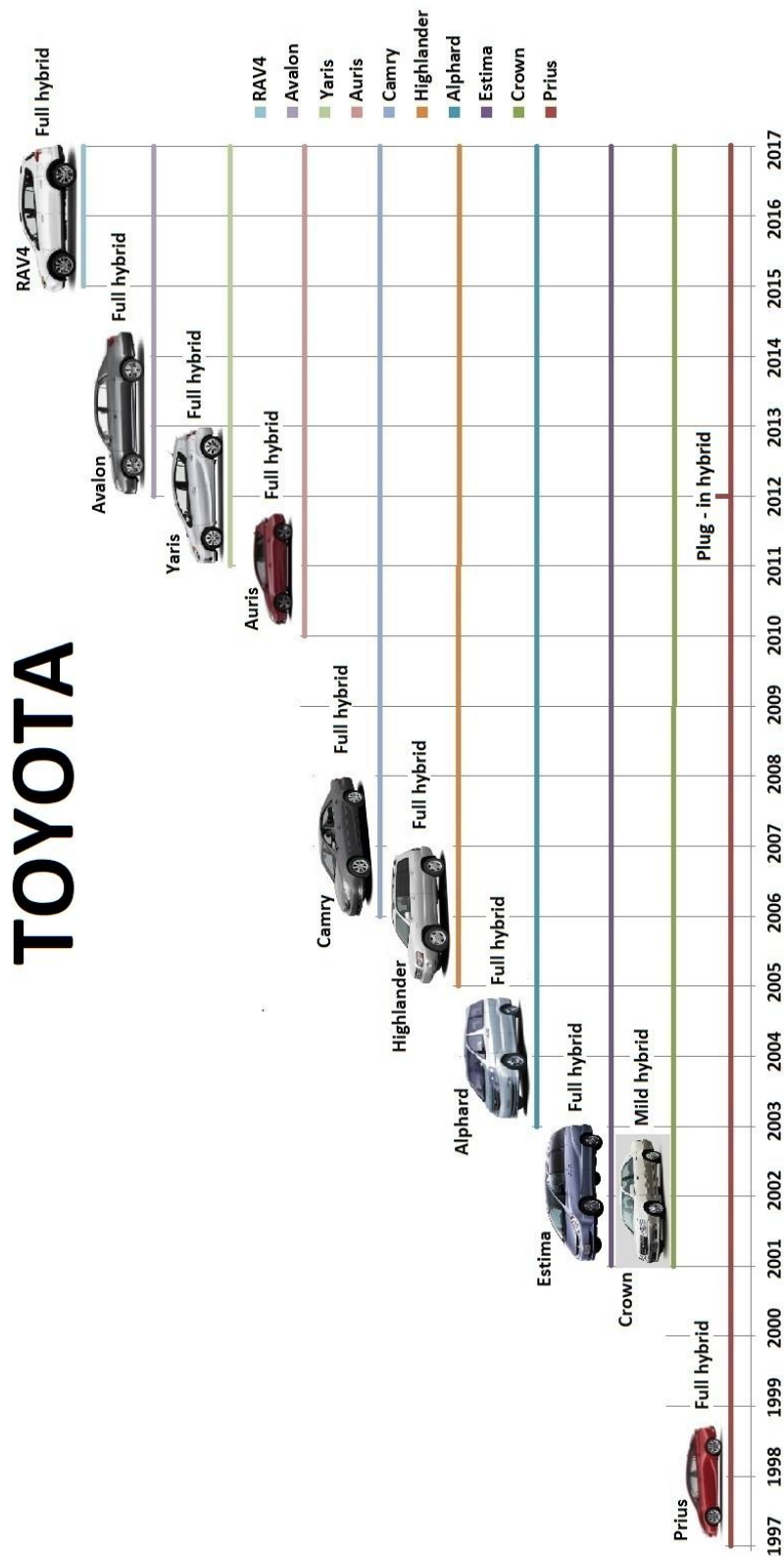
Výkon motorgenerátoru setrval na 10 kW, zvýšen byl však jeho točivý moment na 79 Nm, což bylo vzhledem k váze vozu téměř nutností.

Spalovací motor má v novějším modelu již 4 válce a jeho objem byl zvýšen na 1,3 litru. Výkon s točivým momentem vzrostly a nyní dosahují 73 kW při otáčkách 5800 1/min a 167 Nm (vyráběla se i druhá verze motoru pro EU trh s 65 kW a 121 Nm). Pro lepší efektivitu pracuje v Atkinsonově cyklu, a stejně jako v první generaci je vybaven záložním 12voltovým startérem. Spárován je pouze s CVT převodovkou. Manuálně řazená převodová skříň v této generaci použita nebyla.

Napětí akumulátoru bylo sníženo na 100,8 V. Nyní obsahuje celkem 84 Ni - MH článků uspořádaných do 14 modulů, po 6 člancích. Celková kapacita akumulátoru je pak 0,58 kWh. Umístěn byl opět do zadní části vozu (pod podlahu zavazadlového prostoru), kvůli lepšímu rozložení hmotnosti.

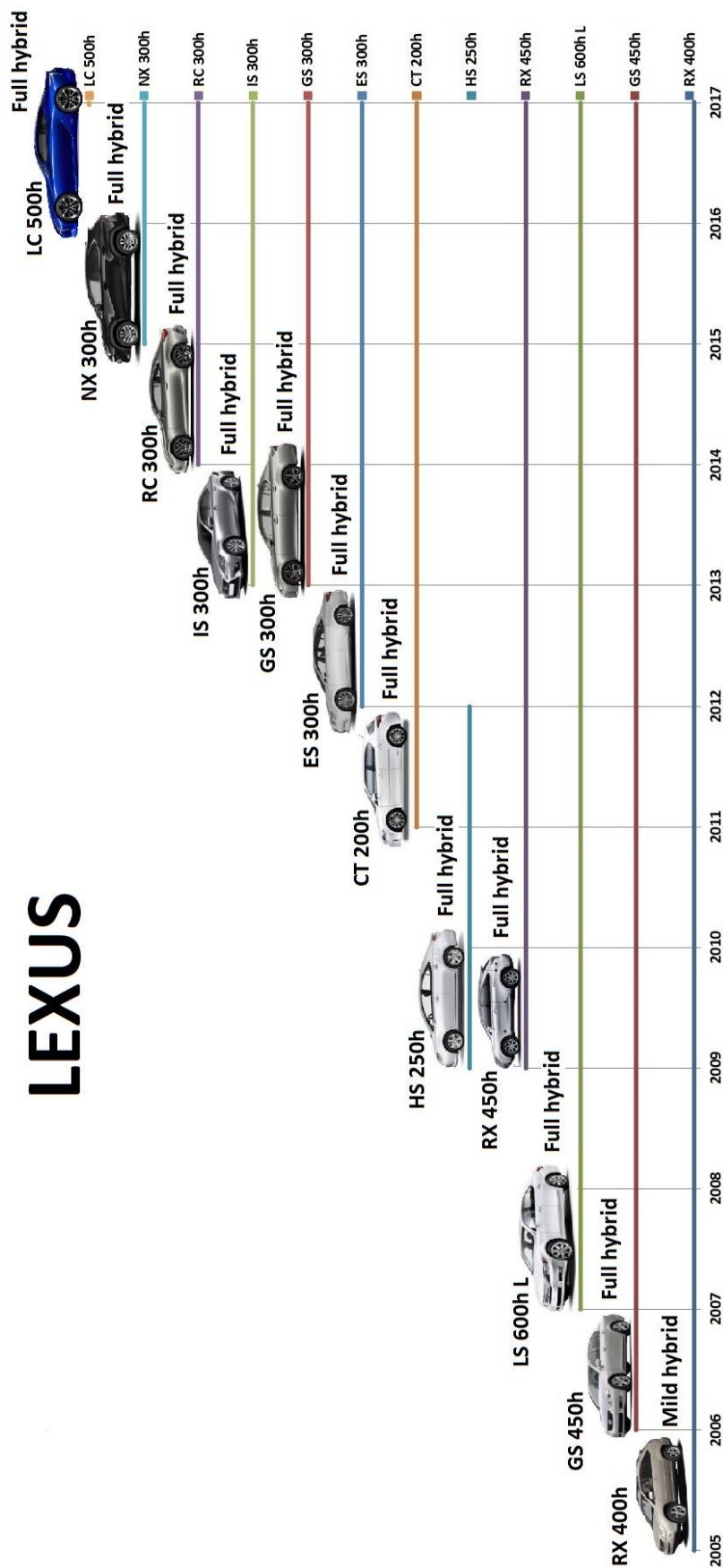
Udávaná kombinovaná spotřeba je 4,6 litru na 100 km, což je sice podstatně více než v první generaci, díky váze vozu a celkově jiné koncepci, to však lze očekávat. [53] [69] [73] [74] [75]

8 Časové linky hybridních modelů vybraných automobilových výrobců



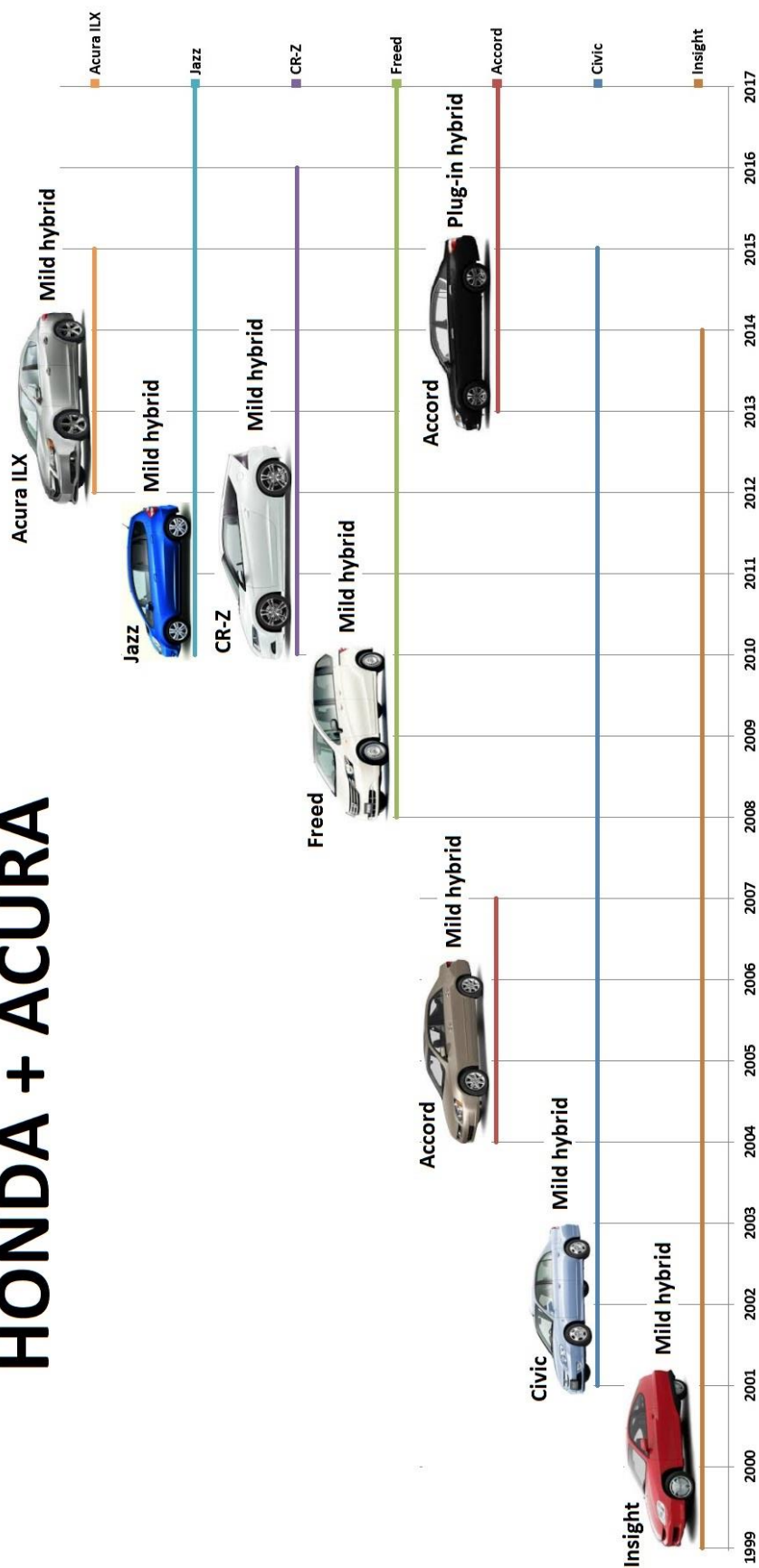
Obrázek 32 - Časová linka hybridních vozů Toyota

LEXUS



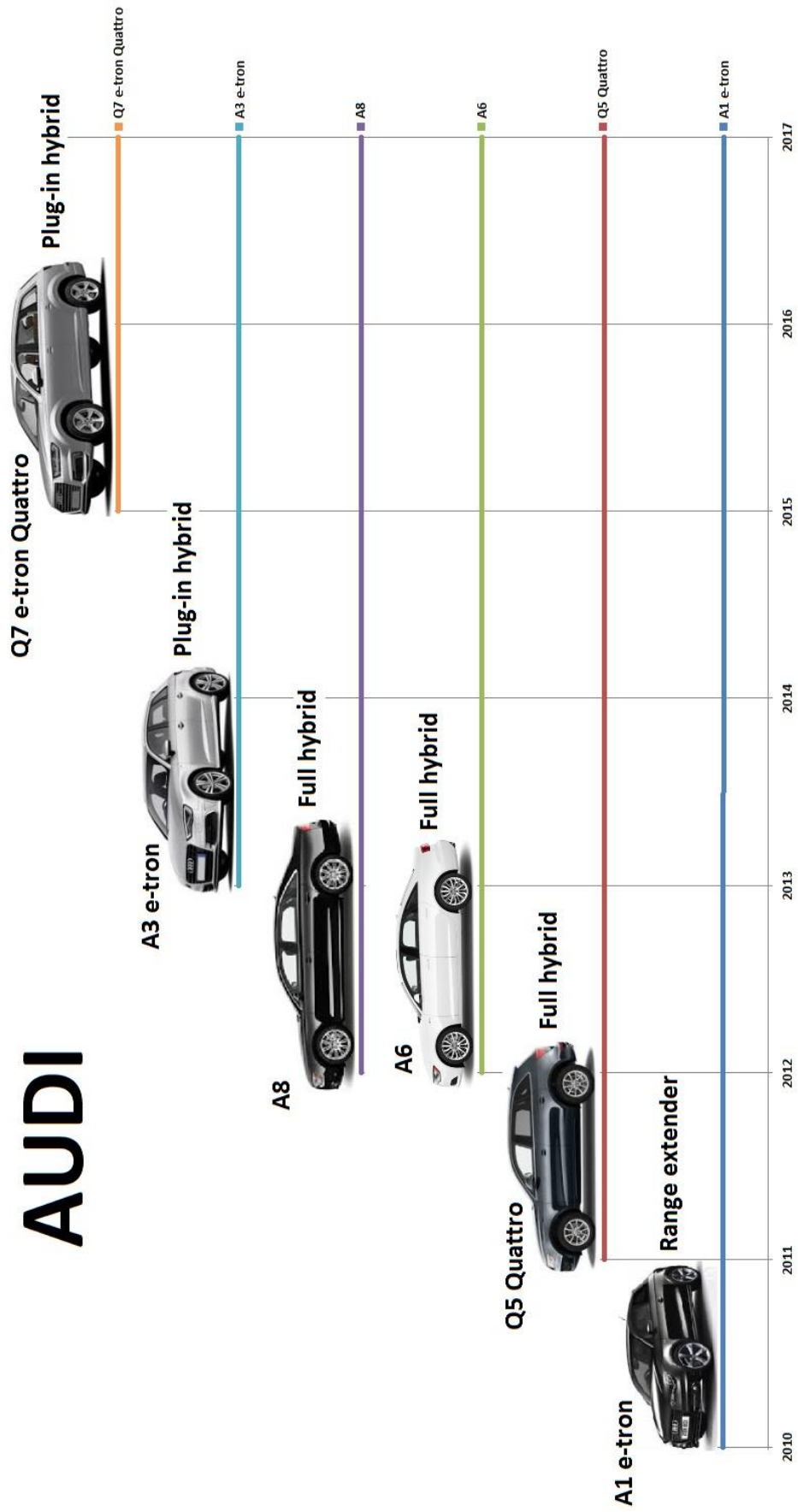
Obrázek 33 - Časová linka hybridních vozů Lexus

HONDA + ACURA



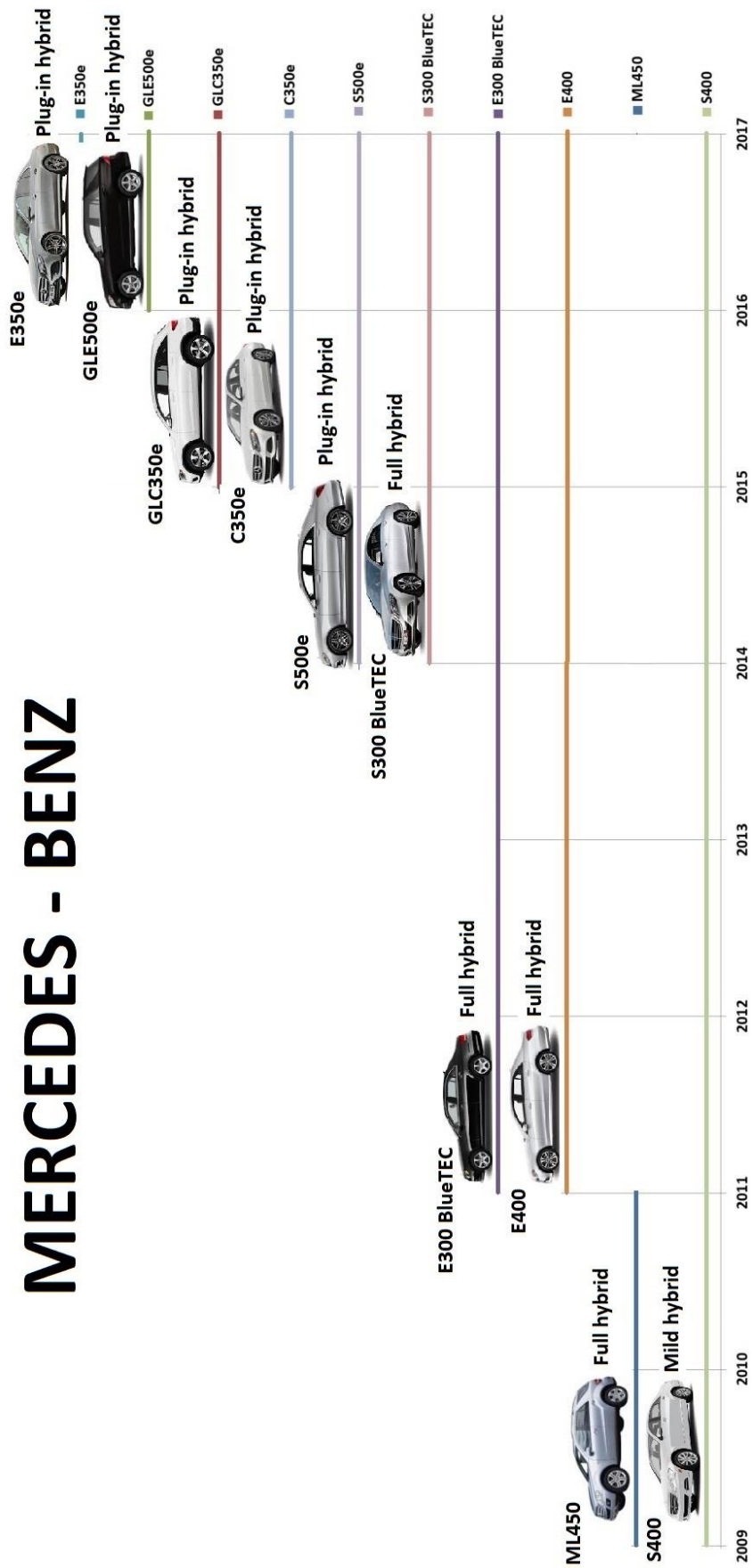
Obrázek 34 - Časová linka hybridních vozů Honda a Acura

AUDI



Obrázek 35 - Časová linka hybridních vozů Audi

MERCEDES - BENZ



Obrázek 36 - Časová linka hybridních vozů Mercedes - Benz

[120] [121] [122] [123] [124] [125] [126] [127]

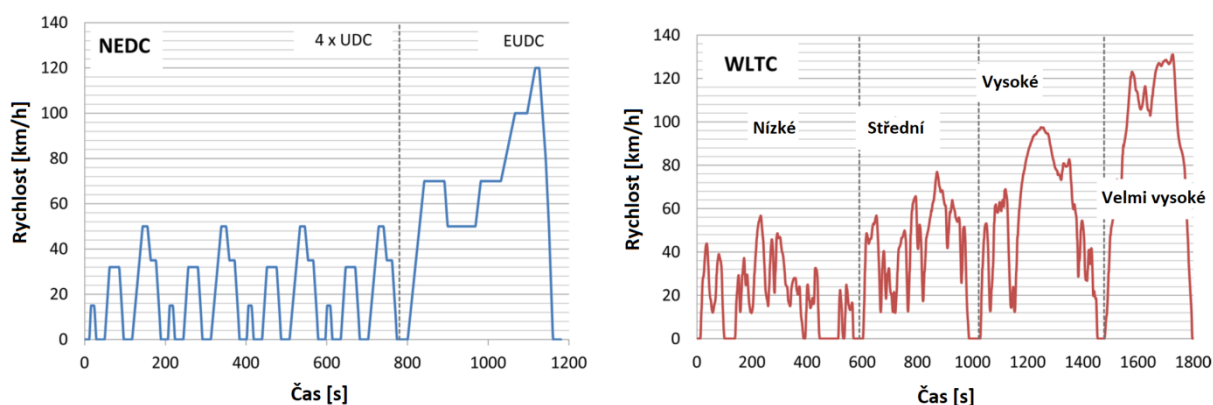
9 Vývoj hybridních pohonů

Jak naznačují jednotlivé dějové linky, různé automobilové společnosti směřují své firemní strategie dosti odlišně, ať již uvažují množství druhů jednotlivých modelů, nebo jejich konkrétní hybridní koncepci. Některé důvody jsou naprosto zřejmé, o jiných mohu pouze spekulovat.

Historický vývoj jednotlivých hybridních kategorií (pokud se tedy zaměřím na posledních cca 20 let) mohu rozdělit na 2 období. **Prvním z nich je velmi přibližně doba let 1997 - 2009.** V těchto letech vznikaly především hybridní řešení kategorií mild hybrid a full hybrid. Průkopníky v těchto kategoriích se staly japonské automobilové společnosti Toyota a Honda, kdy každá z nich zvolila naprosto odlišnou taktiku. V případě Hondy to bylo právě mild hybridní řešení systému Integrated Motor Assist, které potenciální zákazníky „nevzděsilo“ přílišnou hybridizací, ale nabízelo spíše příjemný benefit ve formě snížení spotřeby paliva a produkce emisí, zatímco cena hybridních modelů nebyla tak vysoká, díky použití méně drahých komponent. Toyota to vzala z trochu jiného konce a pokusila se rovnou o vývoj naprosto exkluzivního full hybridního řešení ve formě Toyota Hybrid System (s drobnými změnami používaný dodnes). To se však zprvu neujalo tak dobře, jak se původně čekalo, a tak se první generace tohoto systému použitého v Toyotě Prius, i přes svou technickou atraktivitu, stala prodělečným projektem. Postupem času se ale vše napravilo, a vzhledem ke zvyšujícím se nárokům na produkci emisí, dokonce proměnilo v cenný náskok oproti ostatním konkurentům. Těmi se staly především Mercedes - Benz, BMW a Chevrolet (též mild a full hybridní modely).

Druhým obdobím je opět velmi přibližně doba od roku 2009 - dnes (roky 2008 - 2010 byly velmi bohaté na vývoj spousty hybridních koncepcí). V těchto letech nastal rozmach kategorií micro hybrid a plug - in hybrid, především díky nově nastupujícím emisním normám Euro 5 a Euro 6. Ty donutily automobilky k řešením, jež v mnoha případech byly bez použití hybridní technologie nelehko splnitelné. U micro hybridních řešení není ve skutečném provozu velký přínos, ale v cyklu NEDC, kdy cca 23,7 % celkového času strávilo vozidlo v nulové rychlosti, se jeho funkce projevila. V novém cyklu WLTP, platném od září 2017 (povinném od září 2018), se tento poměr snížil k 12,6 %, což micro hybridům už tolik výhod neposkytne. [83]

Cyklus NEDC obsahoval 4 segmenty UDC (Urban Driving Cycle - cyklus reprezentující městský provoz vyznačující se nízkým zatížením, nízkou rychlostí vozu a nízkou teplotou výfukových plynů) a jeden segment EUDC (Extra Urban Driving Cycle - cyklus reprezentující agresivnější styl jízdy a jízdu vyšší rychlostí). Doba trvání testu byla 1180 s, během nichž bylo ujeté 11,03 km průměrnou rychlostí 33,6 km/h.



Graf 5 - Porovnání rychlostních profilů cyklů NEDC a WLTC (WLTP) [83]

Nový cyklus WLTC (WLTP - testovací procedura) je rozdělen do 4 segmentů podle zatížení a aktuální rychlosti. Lépe reprezentuje skutečný provoz vozu a je též mnohem delší. Délka jeho trvání byla stanovena na 1800 s, při nichž vůz absolvuje 23,27 km průměrnou rychlostí 46,5 km/h. Markantní změnou je také fakt, že se zde již zohledňují jednotlivé prvky výbavy, což u NEDC nebylo. Testují se tak různé varianty, aby bylo zaručeno změření celkového rozpětí. [84] Navíc od září roku 2019 přibude povinnost testovat nové modely v reálném provozu - testování RDE (Real Driving Emissions - v překladu: emise v reálných podmínkách jízdy).

	NEDC Lab. testování		WLTP Lab. testování	RDE testování	
	2017	2018	2019	2020	2021
Testovací cyklus	NEDC			WLTP	
Emisní Standard	Euro 6b		Euro 6c	Euro 6d-TEMP	Euro 6d
RDE NO _x	Monitoring			CF 2.1	CF 1.5

Obrázek 37 - Schéma nastupujících emisních norem a metodik měření [84]

Testy RDE se provádějí v běžném provozu za předem definovaných okrajových podmínek, vzhledem k tomu, aby jednotliví výrobci nemuseli své modely testovat na konkrétní trati a vyhnuli se tak zbytečným nákladům (i časovým). Zároveň byl stanoven takzvaný faktor shody (Conformity Factor - CF), který udává, kolikrát mohou hodnoty naměřené touto metodikou překračovat ty naměřené v laboratorních podmínkách při cyklu WLTC. Do roku 2021 je stanoven CF na 2,1 (210 % emisí NO_x), postupem času se bude snižovat. Hodnocení se bude týkat především emisí NO_x a pevných částic. Emise CO₂ jsou zatím předmětem debat. [9] [84]

	Jízda ve městě	Jízda mimo město	Jízda na dálnici
Rychlost	0 – 60 km/h	60 – 90 km/h	90 – 145 km/h (max. 160 km/h ale ne více než 3% dálniční jízdy) více než 100 km/h alespoň 5 min.
Vzdálenost	minimálně 16 km a 34% (- 5%, +10 %) z celkové jízdy	nejméně 16 km a 33 ±10% z celkové jízdy	nejméně 16 km a 33 ±10% z celkové jízdy
Doba stání	6 – 30 % z doby strávené ve městě		
Teplota	mírné podmínky: mezi +3°C a +30°C (od 9/2019 mezi +0°C a +30°C) rozšířené podmínky: až do -2°C a +35°C (od 9/2019 mezi -7°C a +35°C)		
Nadmořská výška	mírné podmínky: 700 m rozšířené podmínky: 1300 m		

Tabulka 1 - Okrajové podmínky metodiky Real Driving Emissions [85]

Dnes je zde aktuální norma Euro 6c, která povoluje 130 g průměrných emisí CO₂ na km. V roce 2021 však přijde v platnost norma Euro 6d a ta již povoluje pouze 95 g/km, což je, téměř pro všechny vozidla bez hybridní technologie, likvidační hodnota. Proto snad každá automobilová společnost byla nucena zařadit do své nabídky elektromobily nebo hybridní modely a spousta z nich dokonce ukončuje výrobu modelů, jenž svými emisními výsledky výrazně zhoršují celkovou statistiku. To nahrává do karet rozvoji kategoriím s vyšším stupněm hybridizace (typicky plug - in hybridy) a ostatním nízkoemisním, či bezemisním vozům. Motivace je v tomto případě opravdu velká, neboť při nesplnění stanoveného limitu budou od roku 2021 platit pokuty ve výši 95 eur za každé prodané vozidlo v EU, na všechny překročené gramy nad 95 g/km. [86] Euro normy dále stanovují hlavně limity emisí CO, NO_x, HC a pevných částic. S každou novější generací normy Euro se tak tato čísla drasticky snižují.

Rok/norma		CO [g/km]		NO _x [g/km]		HC + NO _x [g/km]		HC [g/km]	PČ [g/km]
1992	I	3,16	3,16	-	-	1,13	1,13	-	0,18
1996	II	2,20	1,00	-	-	0,50	0,70*	-	0,08**
2000	III	2,30	0,64	0,15	0,50	-	0,56	0,20	0,05
2005	IV	1,00	0,50	0,08	0,25	-	0,30	0,10	0,025
2009	V	1,00	0,50	0,06	0,18	-	0,23	0,10	0,005
2014	VI	1,00	0,50	0,06	0,08	-	0,17	0,10	0,005

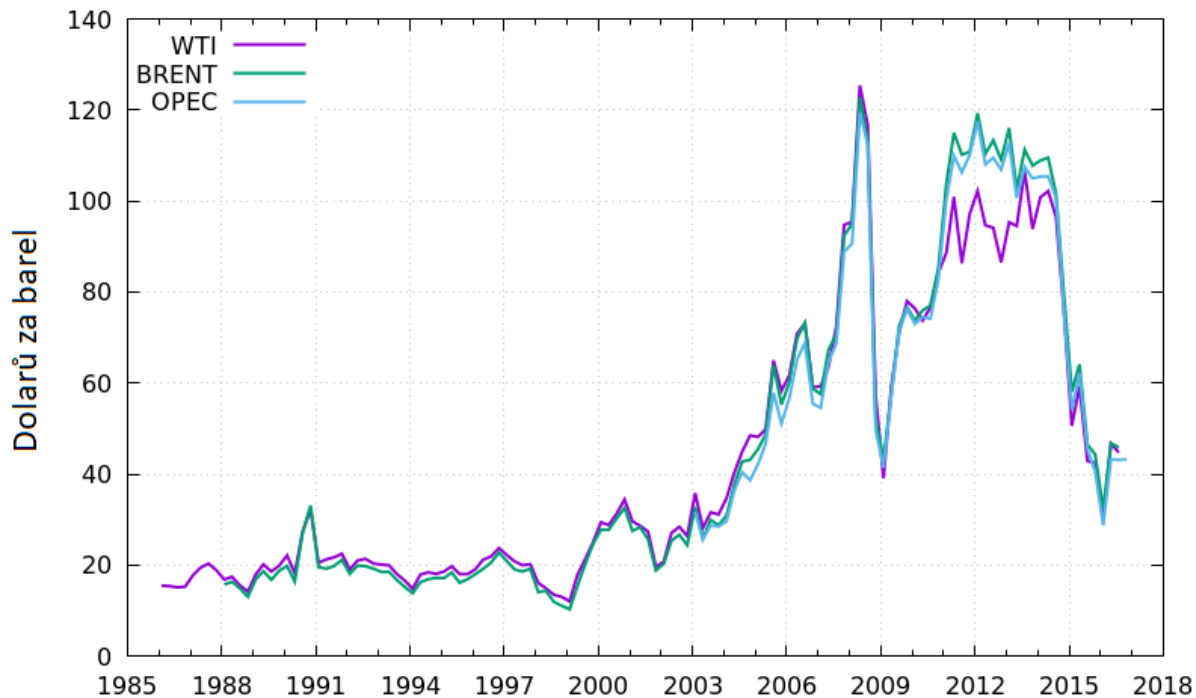
BENZÍNOVÉ MOTORY, NAFTOVÉ MOTORY

* 0,90 pro motory s přímým vstřikováním paliva

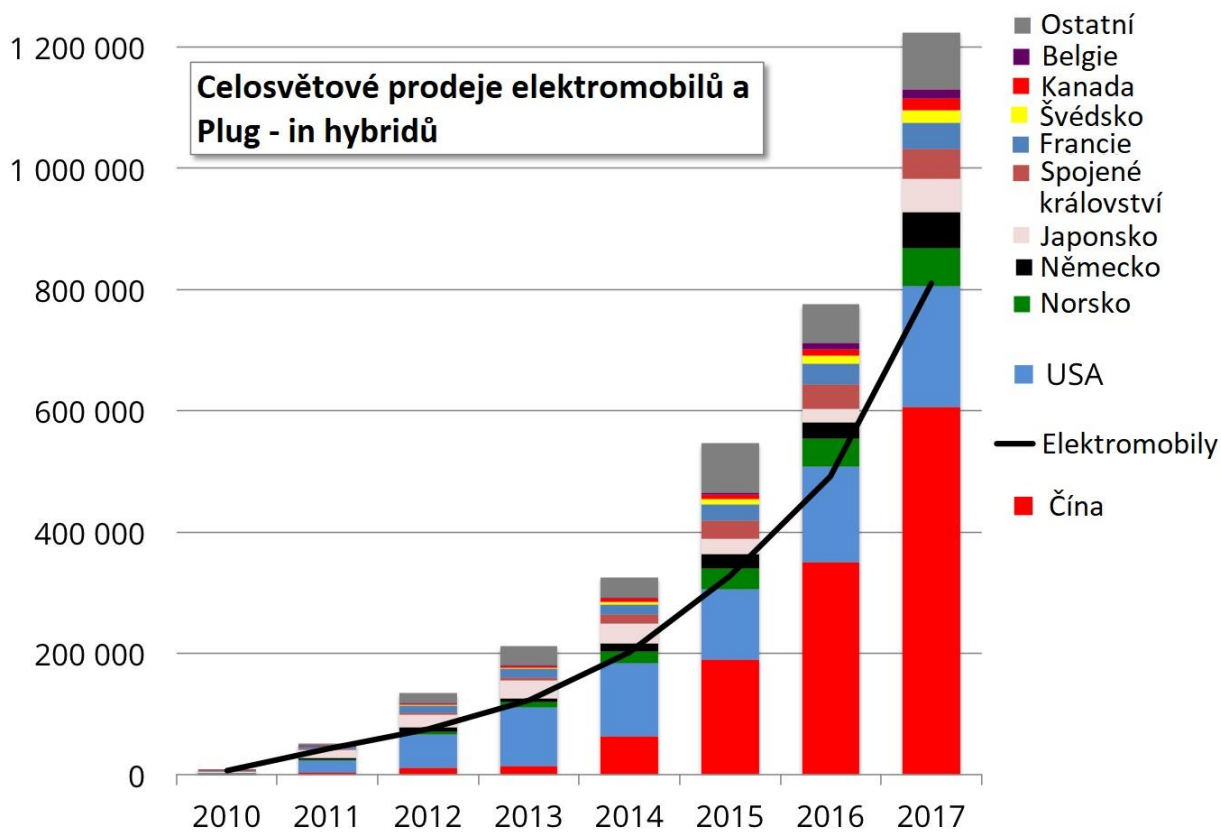
** 0,10 pro motory s přímým vstřikováním paliva

Tabulka 2 - Přehled limitů emisních norem EURO I - EURO VI [87]

Fakta, která jsem uvedl v článku výše, jsou samozřejmě stěžejním důvodem přechodu na vyšší procento hybridizace pohonu, nejsou však jediným kritériem. **Dalším důležitým bodem je logicky poptávka na trhu.** Ta jde, v tomto případě, ruku v ruce s neustále se zvyšujícími cenami pohonných hmot. Cena ropy nezadržitelně roste a vzhledem k jejím tenčícím se zásobám ani neočekávám v budoucím dlouhodobém horizontu cokoli jiného. Zákazníci tedy hledají vozy, které kromě komfortu jízdy a cen servisu, budou mít také co nejnižší provozní náklady z hlediska spotřeby pohonných hmot. Lépe objasňující je vývoj cen světové ropy. Přestože jsem v některých letech (2009 a 2016) zaznamenal výrazný pokles cen, z dlouhodobého hlediska cena roste. Tento trend se dále promítá na rostoucích číslech prodaných plug - in hybridních vozů (ale i ostatních hybridů), u nichž je, i přes jejich vyšší pořizovací cenu, úspora největší.



Graf 6 - Vývoj cen ropy od roku 1986 [88]



Graf 7 - Celosvětové prodeje elektromobilů a plug - in hybridů [92]

V případě evropských automobilek nastal přestup na modely s vysokým stupněm hybridizace téměř okamžitě potom, co začaly nabízet své hybridní modely (v rámci cca 4 let) a jejich aktuální firemní filosofie v tomto trendu pokračuje. U asijských automobilových společností (typicky Toyota / Lexus) tento trend není tak markantní. Je pravdou, že plug - in hybridní verze stávajících i nových modelů do svého portfolia zařazují, jejich úsilí však není tak velké jako třeba u Audi / Volkswagenu. Dalším příkladem může být Volvo, jež se nechalo slyšet, že od roku 2019 budou jejich vozy už jen čistě hybridního, či elektrického charakteru. [94] Vše nasvědčuje tomu, že tento trend, který chce alespoň částečně následovat i Audi, postupně prosakuje i k ostatním značkám. Ve všech případech však plánují nabízet modely v různých hybridních konfiguracích, kdy velkou část budou zabírat modely v mild hybridním řešení a to především se 48voltovými systémy. Zatím však není jisté, kolik modelů bude do budoucna hybridizováno a kolik jich skončí. Samotné společnosti v této době hledají ideální řešení, což ústí v kompletní přestavbu jejich nabídek, nevylučující dokonce i odstranění některých hybridních modelů, jejichž produkce se nevyplácí. Na to má vliv také velmi drahá homologace. Podle posledních zpráv však usuzují, že nabídka se bude především rozšiřovat než zužovat, jelikož je neustále oznamováno stále více hybridních novinek. [82] [95]

9.1 Trendy komponent hybridního pohonu

Pokud rozeberu jednotlivé komponenty hybridního systému z hlediska vývoje za posledních 20 let, docházím k závěrům, které však nejsou vždy překvapivé. Nejvíce propíranou komponentou je zcela jistě **akumulátor energie** (v rámci hybridních vozů výhradně elektrické). Z počátku tohoto období byly používány výhradně **články Ni - MH**, jelikož lithiové byly velmi drahé. Někteří výrobci (např. Toyota) u nich zůstávají i do dnešních dnů, ale v nabídce jsou drženy především jako levnější varianta. Během let se podařilo jejich parametry znatelně zlepšit, zejména pak výkonovou hustotu, částečně potlačit efekt samovybíjení a uspořádat je do kompaktnějších rozměrů. Bohužel v dnešní době už lze říci, že se dostávají k limitům své technologie a velké naděje v jejich další vývoj zde nejsou. Využívali je téměř všichni výrobci, kteří se rozhodli s vývojem začít dříve než v posledních několika letech. Souběžně s jejich hromadným použitím ale postupně klesala cena lithiových článků. Ty začaly Ni - MH akumulátory masově nahrazovat přibližně kolem roku 2008. Překonávají je téměř ve všech výkonových parametrech, kdy stěžejním je však právě hustota

energie, která je většinou přibližně dvojnásobná. Tyto články mají spoustu modifikací, kdy nejpoužívanější jsou články lithium - iontové. Někteří výrobci (např. Kia a Hyundai) používají i články lithium - polymerové (Li - pol), které v těchto ohledech dosahují ještě lepších výsledků, mají však kratší životnost, což je pravděpodobně hlavním důvodem, proč se jim dosud ostatní výrobci vyhýbali. Relativně mladou záležitostí jsou také články lithium - železo - fosfát (LiFePO_4), jejichž hlavní využití je v hybridních autobusech, díky jejich schopnosti velmi rychlého nabíjení (v rámci několika minut). Bohužel nedisponují tak vysokou hustotou energie (80 - 120 Wh/kg), a tedy v osobních vozech standardní Li - ion ani Li - pol nenahrazují. Stejně je to i s novými akumulátory LTO (lithium - titan - oxid), které dosahují ještě vyšších nabíjecích i vybíjecích proudů (10násobek kapacity a více) a mnohem vyšší životnosti (cca 20000 cyklů). [128] Uplatnění by tedy též našly především v aplikacích, kde nebude tolik vadit jejich vyšší váha a naopak se využijí krátké dobíjecí časy (typicky linkové hybridní autobusy). Zatím je však velkým problémem jejich vysoká cena, což však v případě nové technologie očekávám. Ve vývoji jsou nyní i další verze akumulátorů na bázi lithia. Relativně slibně se vyvíjejí akumulátory Li - Air, které by měly disponovat několikanásobně vyšší hustotou energie. Cesta k finálnímu produktu je však ještě dlouhá. Aktuálním trendům v odvětví akumulátorů pro hybridní vozy, tak prozatím vévodí Li - ion, ke kterým je v ojedinělých případech nabízena levnější varianta typu Ni - MH.

Lithiové články mají (jak jsem již avizoval výše) několik modifikací, kdy pro osobní hybridní vozidla jsou nejvhodnější druhy s manganem (druhy Li - ion NMC - Nikl Mangan kobalt oxid). Ty mají sice nižší hustotu energie než kobaltové typy, disponují však nižším vnitřním odporem a především schopností vybíjení vysokými proudy. Kobaltové druhy jsou vhodné pouze pro nízké proudové zatížení a využívány jsou tedy do spotřební elektroniky. O fosfátových člancích (LiFePO_4) jsem se zmiňoval výše. [96]

Specifikace	Li-ion		
	Kobaltové	Manganové	Fosfátové
Hustota energie (Wh/kg)	150–250	100–150	90–120
Vnitřní odpor	Střední	Nízký	Velmi nízký
Životnost (80% Kap.)	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000
Jmenovité napětí	3.6V	3.7V	3.2–3.3V
Špičková zátěž C = násobek kapacity	2C <1C	>30C <10C	>30C <10C
Nabíjecí teplota	0 – 45°C		
Vybíjecí teplota	–20 to 60°C		
Používáno od	1991	1996	1999
Toxicita	Nízká		

Tabulka 3 - Srovnávací tabulka Li - ion akumulátorů [97]

Druhá stěžejní komponenta je samozřejmě **elektromotor**. Na začátku jsem uvedl několik druhů, které se v tomto odvětví využívají. Přesto, že spousta z nich disponuje vysokou účinností, volba výrobců je ve většině případů jednoznačná (pro osobní vozy). Ano, je zde i výjimka, kterou jsem však do přehledu nezahrnul, jelikož se jedná o výrobce, jenž se soustředí výhradně na elektromobily a nikoliv hybridy - Tesla. Ta využívá do svých modelů motory asynchronní.

V následující tabulce jsem shrnul většinu výrobců hybridních vozů a k nim přiřadil typ elektromotoru + akumulátoru, jenž výhradně používá nebo používal dříve. Tabulka působí lehce monotónně, což ale ještě více zvýrazňuje trend, který u volby elektromotorů převládá. V rámci této komponenty tedy není příliš prostoru pro rozmanitost a volba je téměř jednoznačná i přes to, že elektromotory s permanentními magnety jsou relativně drahou záležitostí (především neodymové).

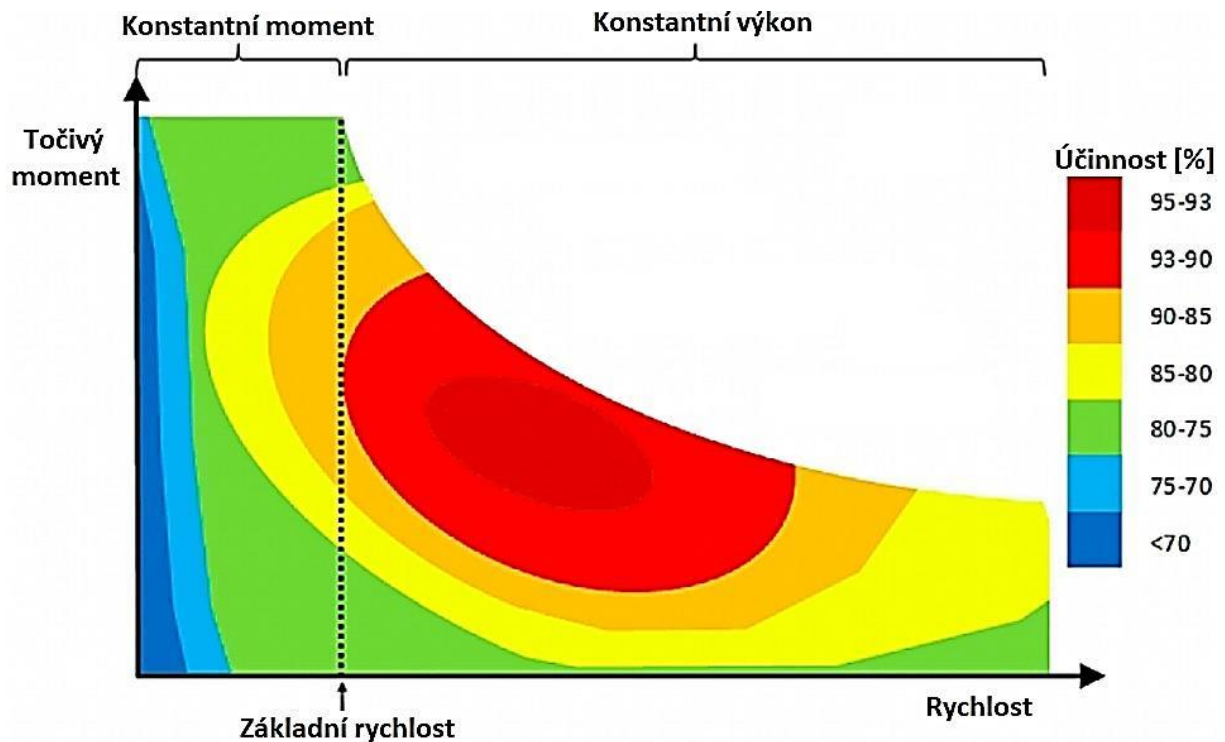
Výrobce	Elektromotor	Akumulátor
Toyota	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Ni - MH / Li - ion
Lexus	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Ni - MH / Li - ion
Audi	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Li - ion
Volkswagen	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Ni - MH / Li - ion
Volvo	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Li - ion
BMW	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Ni - MH / Li - ion
Mercedes - Benz	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Ni - MH / Li - ion
Honda	Bezkartáčový stejnosměrný elektromotor - BLDC	Ni - MH / Li - ion
Nissan	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Ni - MH / Li - ion
Hyundai	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Li - pol / Li - ion
Kia	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Li - pol
Peugeot	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Ni - MH / Li - ion
Chevrolet	Synchronní s permanentními magnety - PMSM	Li - ion

[9] [22] [49] [52] [59] [76] [77] [78] [79] [81] [98] [99] [100]

Tabulka 4 - Automobilový výrobce a jím používaný druh elektromotorů a akumulátorů
(dříve / dnes)

Další hlavní komponentou je **převodovka**. Vzhledem k různým procentům hybridizace pohonu byla vyvinuta spousta modifikací, které mají častokrát pouze své specifické využití. Jedno však je společné a to, že téměř ve všech případech je snaha dostat provoz motorů, ať už elektrických, či spalovacích, do pásma jejich nejvyšší efektivity, případně přijatelné kombinace vysokého točivého momentu a spotřeby paliva (nebo elektrické energie). Důležitou skutečností zde je, že elektromotor má lepší provozní parametry v nižších a středních rychlostech, než motor spalovací. S tím je třeba pracovat, a proto je obecně využíván především při rozjezdech a situacích, kdy rychlost i zatížení nejsou příliš vysoké. Při rozjezdu (přesto, že účinnost je nižší) dosahuje elektromotor nejvyšších hodnot točivého momentu, což je právě důvodem jeho aplikace do tohoto režimu. Za nízké a střední rychlosti zase pracuje v pásmu vysoké účinnosti. Ve vysokých rychlostech je potom hlavní pohonná

funkce přebírána motorem spalovacím (především pokud jde o delší časový úsek), jelikož zde elektromotory ztrácí jak na efektivitě, tak na hodnotách točivého momentu, jak znázorňuje graf dále. Elektromotor sice lze přetížit, ale jen krátkodobě, protože hrozí jeho přehřátí a zničení.

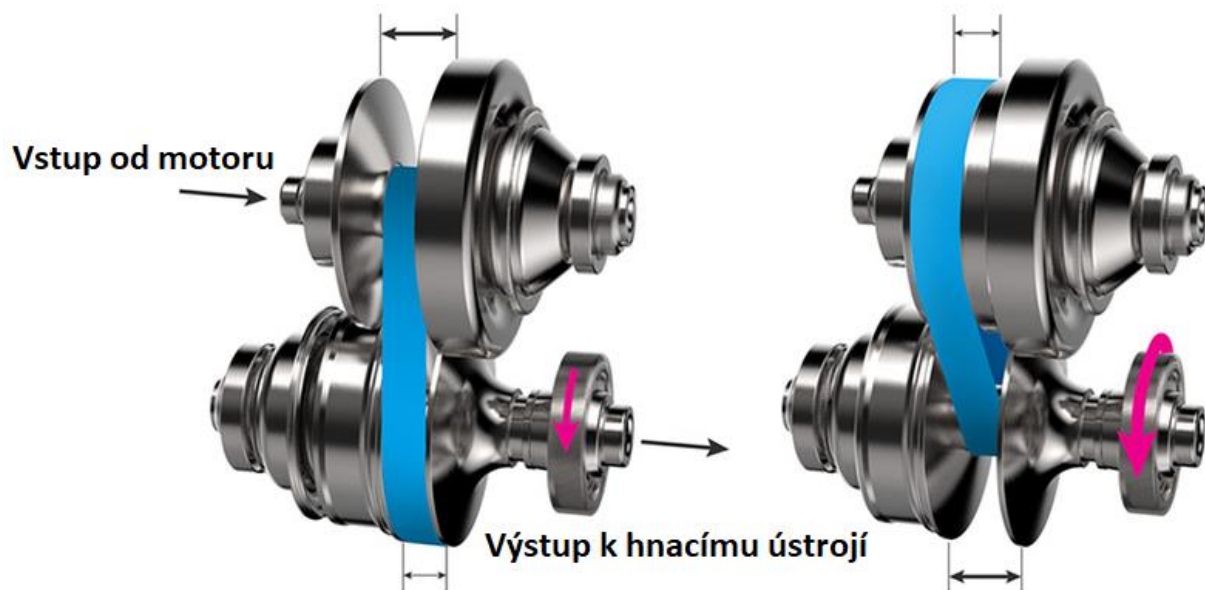


Graf 8

Graf 9 - Momentová charakteristika elektromotoru s mapou účinnosti [101]

S těmito fakty dobře pracují **převodovky CVT, případně ECVT**, jež s oblibou používá Toyota, Honda a GM. Tyto převodovky se díky svým plynule měnitelným převodům dají vhodně přizpůsobit různým jízdním režimům, což je pro úsporu energie velká výhoda. CVT převodovky typicky obsahují rotační kužely spojené řetězem. Vzájemným přibližováním a oddalováním kuželů je „za pochodu“ upravován převodový poměr bez nutnosti změnit otáčky motoru, čímž je dosaženo možnosti provozovat pohonný agregát v oblastech jeho efektivního provozu. Pohyb kuželů je realizován hydraulicky. Na výstupu je pak výkon přes diferenciál poslán ke kolům. V případě převodovky ECVT je změna převodového poměru uskutečněna díky planetovým děličům a elektromotorům (popsáno v kapitolách 7.1 a 7.2), které jsou zde integrální součástí, a převodový mechanismus bez nich nemůže fungovat. Tento typ, označovaný jako **Dedicated Hybrid Transmission - DHT** (v překladu: Speciální

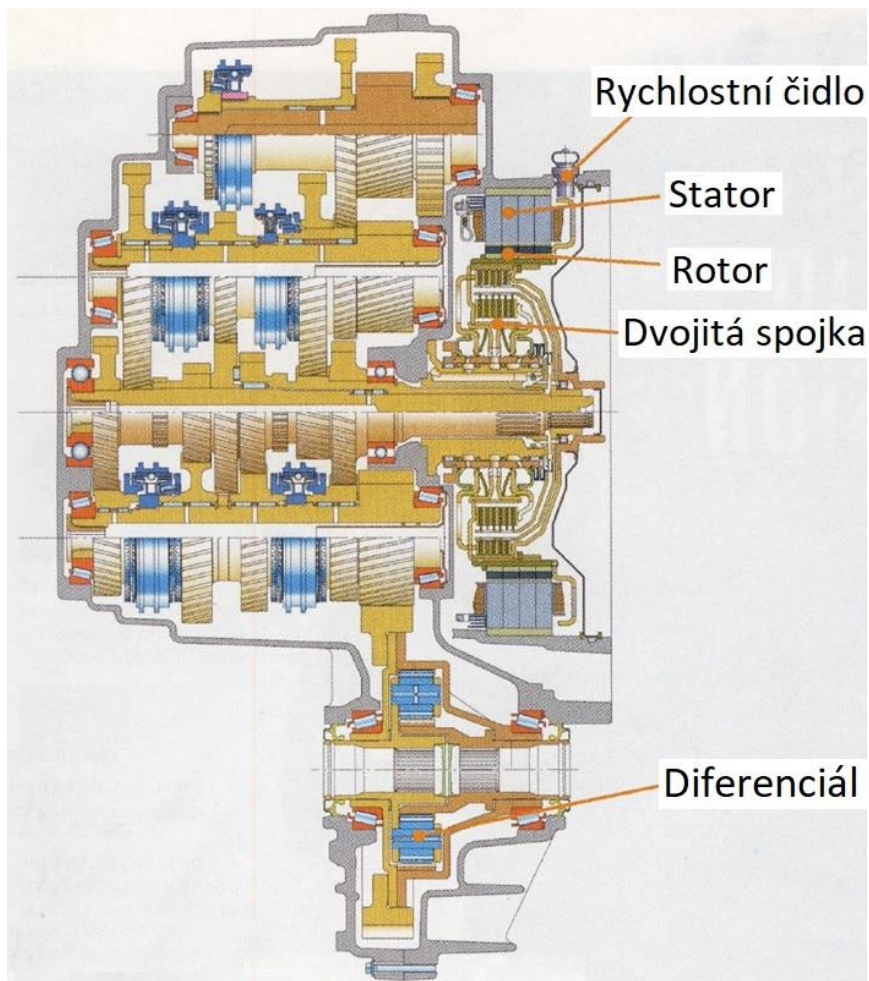
hybridní převodovka), je masově nasazen ve velké části osobních hybridních vozidel a jeho vývoj stále pokračuje.



Obrázek 38 - Převodovka CVT (vlevo převod do pomala, vpravo převod do rychla) [62]

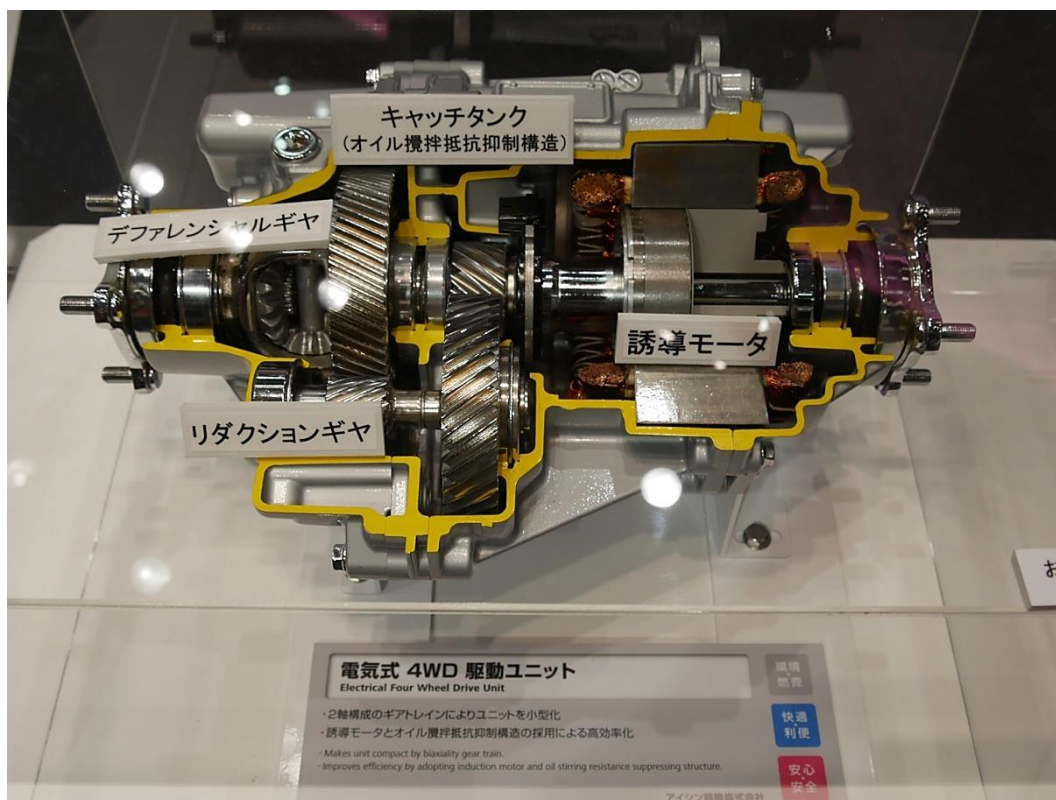
Druhou nejužívanější variantou jsou **stupňové automatické převodovky**. Ať jde o verzi s hydrodynamickým měničem (např. BMW) nebo dvouspojkovou variantu DSG (Audi, VW), je tento druh převodovky populární především v evropských modelech. V případech mild hybridních řešení je snaha integrovat elektromotor přímo do převodovky, kvůli kompaktnosti a jednoduchosti celkové koncepce nebo jej spojit s klikovou hřídelí spalovacího motoru ještě před převodovkou. Pokud jde o plug - in hybrid, jako např. Audi A3 e - tron nebo VW Golf GTE, je elektromotor umístěn mezi dvoumotovým setrvačником a dvouspojku. I přesto je ale považován za součást převodovky.

Jako relativní novinkou v oboru jsou tzv. **hybridní moduly**, které nabízí např. firma ZF. Moduly mají několik výkonových tříd a mohou tedy modifikovat vozidlo na mild, full i plug - in hybrid. Technicky vzato fungují stejným způsobem jako ostatní hybridní koncepce s rozdílem, že je takto možno „hybridizovat“ běžnou automatickou převodovku.



Obrázek 39 - Příčný řez převodovkou DSG [9]

Poslední zmíněnou plošně využívanou možností převodového ústrojí je **redukční převodovka neboli reduktor**. Jak je už z jeho názvu zřejmé, redukuje otáčky vstupu (motoru), zatímco současně zvyšuje výstupní točivý moment. Ve většině případů má jeden stálý a neměnný převodový poměr. Využíván je s hojností u sériových hybridů, kde je přímým pohonem vozu elektromotor, jenž bez redukce není vhodné spojit napřímo s poháněnými koly. Využit tedy může být jak samostatně, tak i jako součást většího celku. Jeho konkrétní podoba není unifikována, což znamená, že krom běžného převodového soukolí, může být např. i částí soukolí planetového, nebo souborem rozet spojených řetězem. Ve spoustě případů je pak spojován s diferenciálem, což je častým řešením dodatečného pohonu jinak nepoháněné nápravy (ke standardně poháněné jedné nápravě se připojuje pohon druhé - 4WD).

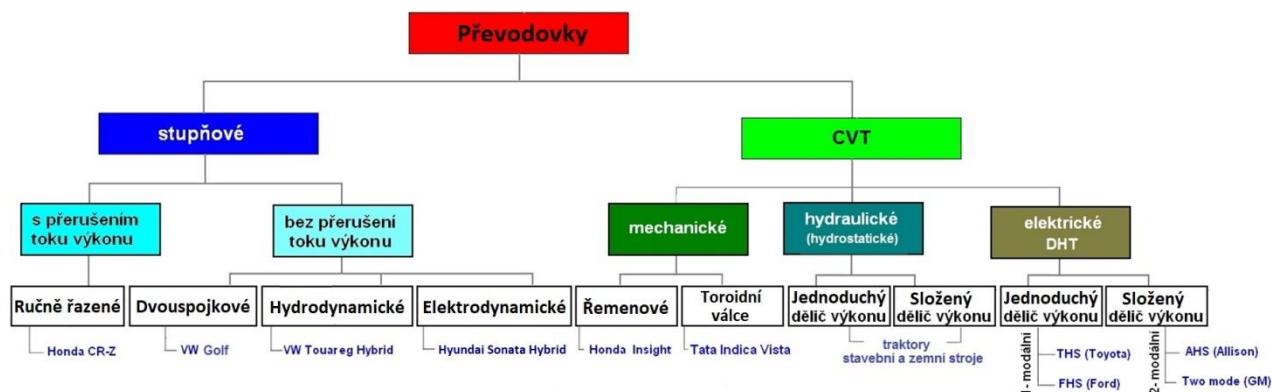


Obrázek 40 - Pohonný modul Toyoty Prius E - Four [104]

Výše zmíněné 2 hlavní druhy, tedy CVT a stupňové automatické převodovky, jsou aktuálně nejčastěji využívanými převodovými ústrojími. Důležitým znakem však je, že jsou využívána výhradně převodová ústrojí schopná řazení nebo změny převodového poměru pod zatížením a zcela autonomně, kvůli maximalizaci ekonomičnosti provozu a jejich správnému používání. Tomu prospívají i výrobcem nastavené režimy, jejichž přechody zajišťují řídicí jednotky. Ty by běžným uživatelem byly suplovány jen velmi obtížně, neboť žádný zákazník by nemohl vědět, kdy a jak správně řadit, bez předchozí zkušenosti a znalosti parametrů celého hybridního systému. To je také zřejmě důvodem, proč se manuálně řazené převodové skříně téměř nepoužívají. Zaznamenal jsem sice několik případů (Honda CRZ, Insight 1. generace), jsou však opravdu raritou, nikoliv běžně aplikovaným trendem.

Pokud vezmu 2 zástupce z těchto 2 skupin, a to převodové ústrojí ECVT Toyoty Prius a DSG převodovku Audi A3 e-tron, vychází mi zcela jasně vhodnějším mechanismem převodovka ECVT. Nejen, že díky plynule nastavitelnému převodu mohu mnohem lépe regulovat zatížení jednotlivých pohonných agregátů, jízda probíhá též mnohem komfortněji díky absenci rázu při řazení rychlostních stupňů. Další velkou nevýhodou, kterou nelze přehlížet, je realita, kdy stupňové převodovky mají více částí podléhajících relativně rychlému opotřebení, primárně

tedy spojky a řadící mechanismy. Z pohledu zákazníka tedy lépe vychází převodovky CVT / ECVT. Je však otázkou, zda se budoucností hybridních převodovek stanou trvanlivější bezestupňové skříně, či se podaří zlepšit parametry převodovek stupňových a obě skupiny si tak rozdělí pole působnosti.



Obrázek 41 - Převodovky v hybridních pohonech [9]

Poslední z komponent, kde je velká snaha o výrazný technický posun, není nic jiného, než **spalovací motor**. Pokud se zaměřím na druhy spalovacích motorů vyvinutých přímo pro maximální efektivitu a úsporu hybridního pohonu, jedná se ve většině případů o benzínové řadové 4válcové s objemem do 2 litrů, určené pro vozy střední třídy. V průběhu let se snaha zvýšit jejich účinnost orientovala především na velký objem recirkulace spalin - EGR, díky kterému se daří snižovat emise NO_x , proměnné časování ventilů snižující celkovou spotřebu paliva, použití lehčích materiálů (ať už plastových, či kovových) a v posledních letech se čím dál tím častěji lze setkat i s přeplňováním maloobjemových agregátů. Valná část spalovacích motorů pak běží v Atkinsonově cyklu, který přesto, že snižuje celkový výkon, je účinnější. Využíváno je též vysokoenergetické zapalování [102], nebo konkrétní konstrukční úpravy, jež umožňují dosahovat nižších ztrát, vznikajících v důsledku tření mezi vnitřními komponenty. Tomu napomáhá i časté použití speciálních olejů se sníženou viskozitou (např. 0W20). Některé z těchto úprav lze aplikovat samozřejmě pouze v případě motorů spalujících benzín. Ty jsou populární především u amerických a asijských výrobců. V Evropě je sice jejich zastoupení také značné, naproti tomu je zde však velký podíl vozů s motory dieslovými, které v hybridních modelech výrobců z ostatních světadílů, tak často nepotkávám. Ty jsou, i přes svou vyšší cenu, velmi populární díky obecně nižší spotřebě. To nahrává výrobcům, kteří mají na jejich produkci postavenou nabídku (např. koncern VW). Agregáty spalující naftu

navíc disponují nižší produkcí CO₂, což je pro splnění emisních limitů výhodné, jelikož právě za překročení limitů CO₂ jsou vysoké pokuty. Emise NO_x jsou naopak u těchto motorů vyšší, což je řešeno selektivní katalytickou redukcí - SCR nebo systémem recirkulace spalin. Selektivní katalytická redukce využívá vodného roztoku syntetické močoviny - AdBlue (32,5 % technicky čistá močovina, 67,5 % destilovaná voda) [103] vstříkovaného před katalyzátor. Výsledkem je výrazné snížení emisí NO_x.

I přes svou vyšší hmotnost, výrobní náklady a komplikovanost jsou dieselové motory s oblibou využívány v hybridních vozech, ale především v modelech vyšší třídy a SUV, kde si svou vysokou cenovku (ve většině případů plug - in hybridní verze) mohou obhájit. Tím pádem je nabízejí hlavně výrobci luxusnějších značek (Mercedes, Audi, Range Rover), jejichž zákazníci jsou na podobné sumy zvyklí. To je možná také důvodem, proč velká část ostatních výrobců stále osazuje do svých hybridních vozů především levnější motory benzinové.

Snaha o zlepšení účinnosti celého hybridního vozu samozřejmě netkví pouze (i když převážně) ve zlepšování parametrů jeho hlavních komponent, tedy motorů, převodových ústrojí, baterií a dalších... Zaznamenal jsem několik faktů, které přesto, že jsou ve většině případů shodné s trendy vývoje běžného vozu, nabírají zde mnohem většího významu. Typickým rysem je snaha o snížení hmotnosti. Vozy s hybridním systémem jsou skoro ve všech případech výrazně těžší, než srovnatelný vůz s běžným spalovacím motorem a není tedy divu, že je snaha o úsporu váhy tak intenzivní. Ať se jedná o úsilí zvýšit hustotu energie akumulátorů, zvýšit poměr výkonu k hmotnosti elektromotorů (kW/kg), používat lehčí materiály ve velkém měřítku na podvozku i pohonném řetězci, tak se odlehčuje i samotná karoserie například použitím uhlíkových vláken, či pneumatiky. Vyráběny jsou speciální odlehčené druhy s nízkým valivým odporem, velkým průměrem a malou šířkou (nabízí je třeba Continental a Bridgestone), případně novinka Toyoty - „plné pneumatiky“. [105] Výměna dojezdového kola za lepicí sadu je běžnou věcí už několik let.

Dalším znakem snahy o co nejvyšší snížení jízdních odporů je uzpůsobení tvaru karoserie co nejvíce aerodynamicky s nízkým koeficientem čelního odporu (velmi znatelné u Hondy Insight / Toyoty Prius). Tento trend je sice opět sdílen mezi všemi vozy obecně, u hybridů a elektromobilů však nabývá mnohem většího významu.

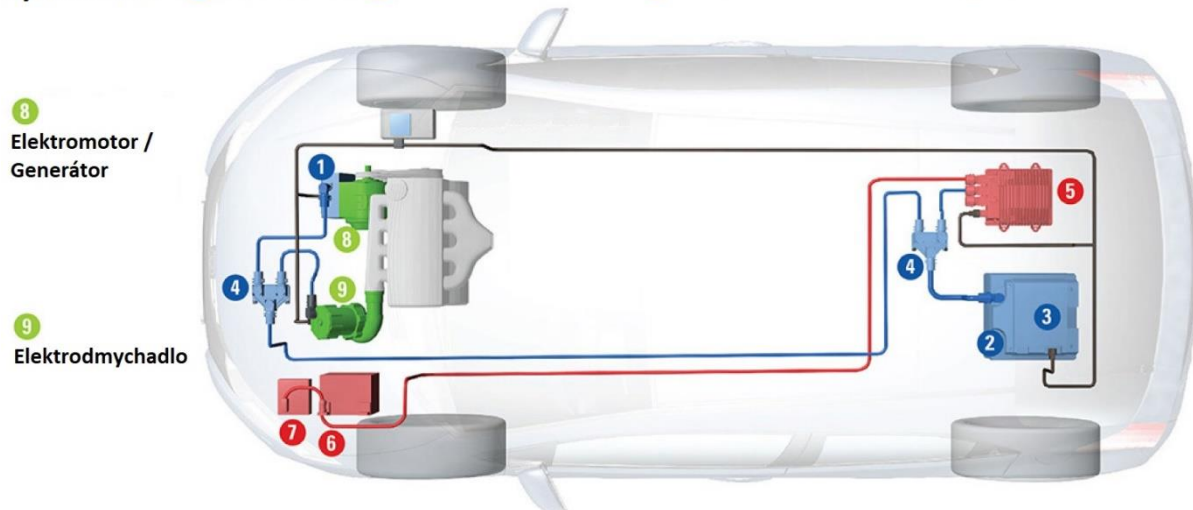
Zajímavé je, že ve většině případů se u jednotlivých hybridních vozů mezigeneračně nezvedá výkon elektromotorů, ani kapacita akumulátorů (pokud se nejedná o rozdíl mezi full hybridní

a plug - in hybridní verzí), ale jejich vývojový trend je orientován především na zvýšení účinnosti. Setkávám se tedy s tendencí výkonů elektromotorů snižovat, ale využívat jejich kombinovaného výkonu při spolupráci (v případě, že je v pohonném řetězci více než 1), či přes použití slabšího agregátu těžit především z výhod inovované koncepce s vyšší efektivitou než u předchozího modelu. Se stejným faktem se shledávám i v případě kapacit akumulátorů, nebo jejich výměny za jiné druhy. Výjimkou budiž plug - in hybridy, kde je snaha elektrický dojezd maximalizovat, tudíž jejich kapacity obecně rostou. V případě spalovacích motorů pak výkonů mají naopak vzestupnou tendenci. Jejich objemy i výkonů převážně rostou, zatímco se však váha ve většině případů daří udržet na přibližně stejné úrovni, nebo je případný přebytek kompenzován úbytkem váhy na jiné komponentě.

9.2 Mild hybridní systém - 48 V

Přibližně během posledních 2 - 3 let se začal rozmáhat nový druh hybridního systému. Jeho napětí je 48 Voltů a doplňuje stávající 12voltový systém, který je v osobních vozech dlouholetým standardem. Jedná se o mild hybridní řešení, jehož hlavním důvodem vzniku je především splnění emisních požadavků. To však neznamená, že kromě zlepšení hodnot emisí nepřináší nic jiného. Jeho hlavní výhoda je v tom, že bez velkých změn lze hybridizovat nové generace stávajících modelů vozů a přinést výhody blízké se full hybridním řešením za mnohem nižší cenu. Systém obsahuje elektromotor / generátor (s funkcí startéru), jehož pohon probíhá ve většině případů skrze řemen. Dále obsahuje měnič napětí, akumulátor 48 V, výkonovou + řídicí elektroniku a v některých případech i elektrodmychadlo (e - booster). Spojen je skrze měnič s klasickou 12V palubní sítí vozu. Napětí 48 V bylo zvoleno vzhledem k tomu, že většina elektrických komponent pracuje efektivněji s vyšším napětím. Zároveň však nemohlo překročit hranici 60 V, jelikož systémy s napětím nad 60 V jsou považovány za vysokonapěťové. Pro ty už platí další přísnější nařízení, obsahující například nutnost použití speciální vysokonapěťové izolace, což by samozřejmě zvyšovalo cenu. Dalším problémem by byla též skutečnost, že s vysokonapěťovými systémy by mohla pracovat pouze servisní střediska k tomuto účelu určená. Běžný servis by tedy nebyl k údržbě tohoto systému kvalifikován.

Systém 48 V ① AC/DC měnič ② Li - ion akumulátor 48V ③ Řídící jednotka akumulátoru ④ Výkonové rozdělovače



Systém 12 V ⑤ DC/DC měnič ⑥ Akumulátor 12 V ⑦ Rozdělovací centrum 12 V

Obrázek 42 - 48voltový systém Delphi [108]

Oproti 12V síti je tento systém zatěžován nižšími proudy (z toho plynou nižší ztráty), a tudíž i jeho kabelová síť by mohla být tenčí a lehčí. Dobrou vlastností systému je i možnost (jako v případě běžných hybridních vozů) převést pohon periferních zařízení jako je posilovač řízení, kompresor klimatizace, vodní čerpadlo a dalších, z řemenového na elektrický, a tím jim dát nezávislost funkce na otáčkách spalovacího motoru a umožnit pracovat dle jejich aktuální potřeby. Pokud je v systému osazen i e - booster, je jeho primární funkcí snížit prodlevu nástupu funkce klasického turbodmychadla nebo jej kompletně nahradit.

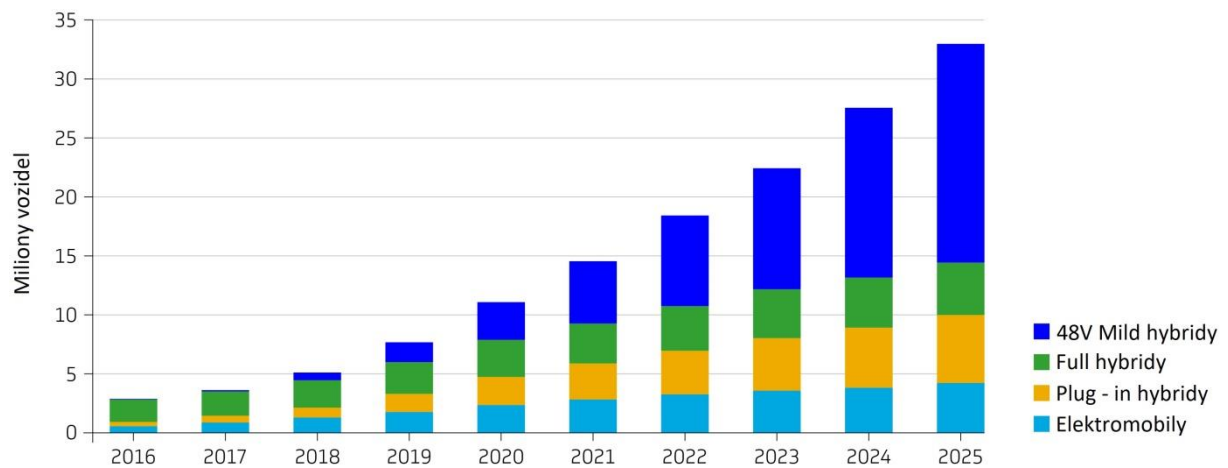
Umístění motorgenerátorové jednotky bývá výhradně na 2 pozicích. P0 a P2. Pozice P0 znamená umístění, kde standardně bývá osazen alternátor. Výhody tohoto řešení jsou především v nižší náročnosti zástavby a z toho vycházející nižší ceny. Oproti konfiguraci P2 však o moc více kladů nenabídne.

Varianta P2 znamená umístění jednotky mezi spalovací motor a převodovku, což v případě kombinace se spojkami na obou stranách umožňuje pohánět vůz čistě elektrickou cestou bez nutnosti otáčet spalovacím motorem (snížení ztrát). Tato koncepce je však nákladnější, jelikož je zde nutnost rozsáhlejších úprav celého pohonného řetězce, případně i karoserie.

48V mild hybridní systémy fungují podobně jako systém Integrated Motor Assist od firmy Honda. Umožňují funkci Start - Stop, rekuperaci brzděné energie, podporu spalovacího motoru, případně i krátkodobě čistě elektrický režim při nízkém zatížení. Výkon elektromotoru se pohybuje kolem 10 - 15 kW (trvale) a obvykle je párován s akumulátorem

Li - ion o kapacitě přibližně 0,5 - 1 kWh. Vývojem těchto systémů se zabývá množství výrobců jako například Delphi, Valeo, Continental, ZF a další.

Předpovědi se různí, ale je odhadováno, že v roce 2025 bude tímto systémem vybaveno až 25 % [9] prodaných vozů, což vzhledem k počtu automobilek, které oznámily implementaci 48V systémů ve svých modelech, je relativně reálná hodnota. Hromadné nasazení plánuje Volvo, Ford, Audi, VW, Mercedes, BMW, Hyundai, Kia a další. Toto je tedy jeden ze zjevných směrů, kam se hybridní pohony budou v následujících několika letech také ubírat. Vzhledem k nižší ceně konfigurace P0 se domnívám, že právě ona bude dominantní (na tu sází koncern VW). Ačkoliv P2 je efektivnější (např. Mercedes), řekl bych, že pořizovací náklady zde budou na prvním místě. Konkrétní směr však ukáže až čas a čísla z prodejů. [9] [106] [107]



Graf 10 - Predikce vývoje trhu elektrifikovaných vozidel včetně 48V mild hybridů do roku 2025 (2017) [109]

10 Ostatní odvětví použití hybridních pohonů - příklady

10.1 Hromadná doprava

Jak je známo, hybridní pohon není jen záležitostí osobních vozů, ale již dávno se využívá napříč různými odvětvími. Jedním takovým je již dříve **zmiňovaná hromadná doprava, především tedy autobusová**. Vzhledem k tomu, že na hybridizaci se hodí především autobusy linkové (MHD), jsou tedy tyto autobusy z velké většiny plug - in hybridy. Stejně jako u osobních vozů zde existují sériové a paralelní koncepce, kdy opět platí stejná pravidla. Pro pohyb v nižší průměrné rychlosti se hodí koncepce sériová, v opačném případě pak paralelní. Linková jízda obsahuje časté zastavování a rozjezdy na zastávkách + stání na konečných, průměrně v rámci pár jednotek až desítek minut. To je důvodem proč v mnoha případech slouží jako akumulátory články LiFePO₄ v kombinaci se superkondenzátory (v dřívějších verzích byly používány akumulátory Ni - MH). Superkondenzátory (s kapacitou cca 1 kWh) vykrývají chvíle častých krátkých rozjezdů, zatímco standardní LiFePO₄ poskytují energii po dobu běžné jízdy společně se spalovacím motorem. Nově by LiFePO₄ akumulátory mohly být nahrazovány moderními akumulátory LTO, které dosahují delší životnosti a rychlejších dobíjecích časů, přestože i lithium - železo - fosfátové se dají nabíjet v rámci několika minut. Dobíjet lze několika způsoby, z nichž obvyklé jsou ty standardní pomocí kabelových adaptérů, případně skrze pantograf umístěný buď na střeše autobusu, nebo přímo na dobíjecím sloupu (např. Volvo). Samozřejmostí efektivního provozu je dostatečně hustá síť dobíjecích míst, jež umožní velkou část trasy ujet převážně za využití elektrického pohonu. Kapacita akumulátorů se pohybuje průměrně kolem 20 kWh, což poskytuje jízdu (v pouze elektrickém režimu) v rámci několika kilometrů. Elektromotor spolupracující se spalovacím motorem (diesellový agregát) bývá často synchronní s permanentními magnety nebo asynchronní, obecně disponující výkonem kolem 100 - 150 kW. Hybridní autobusy vyvíjí dnes většina firem, které se dosud zabývaly vývojem běžných spalovacích. Vzhledem ke vzrůstající poptávce po těchto dopravních prostředcích, především kvůli udržení čistšího ovzduší ve městech, případně přímo nutnosti použití v určitých částech, do nichž čistě spalovací vozidla nesmějí, jejich počty (i přes vysokou cenu) stoupají. Hodnoty emisí i spotřeby paliva jsou opravdu razantně sníženy - v průměru o 30 % v závislosti na konkrétní trase. [9]

Předními výrobci hybridních autobusů jsou Volvo, Solaris a Iveco, ale své modely má i Škoda, SOR a jiní. Jako příklad zde uvádím hybridní autobus **Volvo 7900 Electric hybrid**.



Obrázek 43 - Volvo 7900 Electric Hybrid [111]

Autobus je paralelním hybridem se střešním dobíjením, vybavený vznětovým 4válcovým spalovacím motorem o objemu 5,1 litru. Ten dosahuje výkonu 177 kW při otáčkách 2200 1/min. Maximální točivý moment je 918 Nm. Vybaven je systémy EGR, SCR a filtrem pevných částic (DPF). Sekunduje mu elektromotor o výkonu 150 kW s točivým momentem 1200 Nm, kterému je k dispozici baterie LiFePO₄ o napětí 600 V a kapacitě 19 kWh. Jako převodový mechanismus byla použita 12stupňová automatická převodovka I - shift AT2412D s děličem a rozsahovou planetovou redukcí. Hybridní systém nazývaný I - SAM (Integrated Starter Alternator Motor), tak dává autobusu možnost dosahovat až o 75 % nižší spotřeby paliva a produkce emisí CO₂. [110] Značnou výhodou je skutečnost, že díky elektrickému provozu výrazně klesá i úroveň hluku v okolí autobusu, která je ve městech také sledována.

Zapínání elektrického pohonu je realizováno pomocí GPS, aby byla na trati zaručena maximální efektivita. Nabíjení může probíhat na průběžných zastávkách, to však baterie dobíjí jen lehce. Hlavní nabíjení probíhá na konečných stanicích, kde do plného nabití stačí pouze 6 minut. Nabíjecí čas by mohl být sice výrazně zkrácen, jelikož nabíjecí stanice disponuje i vyšším nabíjecím výkonem, limitem je zde ale akumulátor.

Autobus dokáže pojmout celkem 95 cestujících, z toho 32 sedících. [9] [110]

10.2 Pracovní stroje

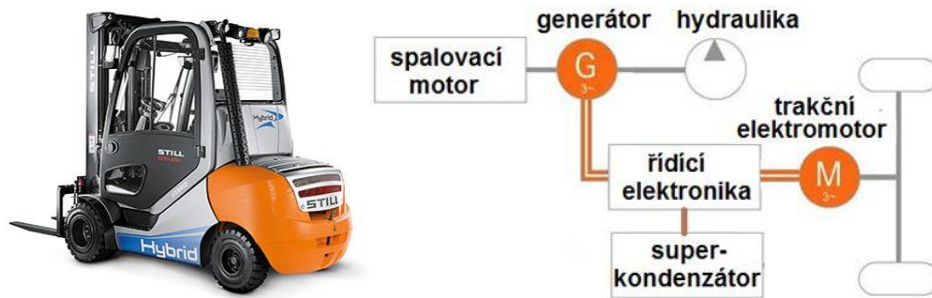
Dalším odvětvím, které hojně využívá hybridní pohony, jsou **pracovní stroje**. Primárně jsou osazovány do strojů s opakovatelným pracovním cyklem, typicky zdvihání či pravidelné otáčení tam a zpět, kdy je rekuperována brzdná energie při zastavování rotace, obecném pohybu stroje nebo skládání nákladu. Příklady budiž zemědělské stroje (traktory), vysokozdvížné vozíky, nakladače, lesní stroje, rypadla a jiné.

Ve většině případů se jedná o kombinaci elektromotoru s dieselovým spalovacím motorem, kdy elektromotor zvyšuje točivý moment spalovacího motoru a vypomáhá v náročných aplikacích. V některých případech může pracovat dokonce samotný elektromotor a spalovací agregát je spouštěn až v případě nouze. Jako akumulátor slouží, ve většině případů, superkondenzátory, protože dokáží rychle přijímat / vydávat nabíjecí / vybíjecí výkony. Jejich menší kapacita zde příliš nevádí, jelikož je uložená elektrická energie často vzápětí využita. Pokud má být však stroj schopen elektrického režimu po delší časový úsek, osazuje se především akumulátory s články Li - ion. Elektromotorem je poté obvykle synchronní stroj s permanentními magnety.

Výhodou jsou jako vždy snížené hodnoty emisí a spotřeby, společně s tišším provozem. Tyto vlastnosti povolují těmto strojům pracovat i v oblastech, kde by běžné nehybridní stroje pracovat nemohly (např. chráněné přírodní oblasti).

Nevýhodami je již tradičně vyšší pořizovací cena, kterou však lze kompenzovat budoucí návratností v podobě snížené spotřeby. Dalším aspektem je logicky zvýšená složitost celého systému a občas i vyšší celková váha stroje, která však v tomto případě není vždy na škodu (např. místo dodatečného závaží u vysokozdvížných vozíků).

Jako příklad zde uvádím **vysokozdvížný vozík STILL RX 70 - 30 Hybrid**. Jedná se o model s hmotností 3 tuny, osazený dieselovým motorem o objemu 1,9 litru. Jeho výkon je 30 kW při otáčkách 2600 1/min. Tomu vypomáhá elektromotor s výkonem 8 kW (točivé momenty bohužel nejsou uvedeny) a jako akumulátor zde slouží superkondenzátor, do kterého je energie rekuperována jak při brzdění, tak při spouštění nákladu. Úspora paliva může dosahovat až 20 % oproti běžnému modelu bez hybridního systému. Nižší je i jeho celková hlučnost. [9] [112]



Obrázek 44 - STILL RX 70 - 30 Hybrid a schéma jeho hybridního pohonu [113]

10.3 Formule F1

Jako poslední příklad dalšího odvětví jsem vybral využití hybridních systémů v okruzích **závodních vozů, konkrétně Formule F1**. V roce 2009 byl zaveden **system KERS (Kinetic Energy Recovery System)**, jehož účelem bylo rekuperovat energii při brzdění a následně ji využít pro akceleraci. Jeho využití bylo omezeno předpisy na 60 kW po dobu 6,77 s, což odpovídá přibližně 400 kJ energie. Toto množství energie bylo možno využít jednou za kolo. Pro tento účel bylo vyvinuto několik konfigurací, z nichž některé využívaly jako akumulátor setrvačnický, jiné zase superkondenzátory nebo lithiové články. Podle způsobu provedení byl akumulátor umístěn na různých místech. Koncepce byly mechanické (Flybrid, Xtrac), elektromechanické (Williams) nebo elektrické (McLaren). Setrvačnický byl standardně situován za zády pilota, v případě elektrických akumulátorů potom pod palivovou nádrží. Jako elektromotor sloužily synchronní stroje s permanentními magnety.



Obrázek 45 - Setrvačnický systém KERS s mechanickým variátorem [116]

V roce 2014 byl systém KERS nahrazen **systémem ERS (Energy Recovery System)**, který místo jedné generátorové jednotky obsahoval jednotky 2. MGU - K a MGU - H. Cílem zde bylo snížit hodnoty emisí, spotřeby a přiblížit techniku závodních vozů těm běžným. Nová pravidla nyní umožňovala využívat energii o velikosti 4 MJ na jeden okruh. V praxi to znamenalo maximální výkon 120 kW po dobu 33 s. Jednotka MGU - K nahrazuje systém KERS, zatímco MGU - H je novou komponentou. Každá z nich funguje na jiné bázi, MGU - K rekuperuje z kinetické energie, MGU - H rekuperuje z tepelné energie výfukových plynů a zároveň řídí otáčky turbodmychadla. Rekuperace je v případě MGU - K omezena na maximálně 2 MJ na kolo, MGU - H limitována není. Vzhledem k tomu, že všechny závodní okruhy F1 nejsou stejné, vedla tato omezení k různým rekuperačním strategiím. Do hry tak vstoupily různé programy, jak kterou jednotku využívat, jelikož někdy není problém 2 MJ „nabrzdit“, zatímco v jiných případech je to stěžejí proveditelné. energii je potom třeba získávat jinak, což zajišťuje právě MGU - H. Dobíjení tak probíhá díky spalování větší dávky paliva, než by bylo skutečně potřeba. Plný výkon motoru není při závodu potřeba téměř nikdy, tudíž je zde prostor pro využití zbývajících výkonu motoru tímto způsobem. Přebytečný výkon tedy není využit k pohonu vozu, ale skrze MGU - K (v tuto chvíli pracující jako generátor) je energie ukládána do akumulátoru. I tento druh rekuperace má však své pomyslné omezení, jelikož je stanoven limit spotřeby paliva 100 kg/h a 100 kg na závod. Pravidla stanovují i parametry spalovacího motoru, jenž musí být 6válcem s objemem 1,6 litru a minimální hmotností 145 kg. Maximální otáčky jsou stanoveny na 15000 1/min. Motorgenerátor je opět synchronním strojem s permanentními magnety (cca 50 kW), jako akumulátor slouží články Li - ion s napětím kolem 250 - 300 V a kapacitou cca 1 kWh. [118] - [114] [117]



Obrázek 46 - Komponenty pohonného systému F1 [119]

11 Závěr a zhodnocení aktuální i budoucí situace

Pokud se ohlédnu zpět na celkový průběh vývoje za poslední dvě desetiletí, je zřejmé, že hybridní pohon si ve světě dobývá stále větší podíl v mnoha odvětvích. Z počátku to byla spíše ukázka technologické vyspělosti a možnosti, jak ušetřit na provozu stroje, v posledních letech se ale jeho použití začíná jevit jako téměř nutnost. Kombinace elektrického provozu, jenž je v tomto případě téměř výhradně zastoupen, byla zvolena díky svým příznivým parametrům a především pak díky faktu, že elektrická energie je výrazně levnějším zdrojem, než fosilní paliva. Nese s sebou dále spoustu dalších pozitiv, jako třeba výrazně nižší hlučnost, či výhodnější provozní parametry v jistých režimech. Pro automobilové výrobce jsou však stěžejním atributem emise, které v tomto případě nabývají mnohem nižších hodnot, než srovnatelný stroj s konvenčním spalovacím pohonem (prudké snižování emisních limitů navíc uspíšila i aféra Dieselpgate v roce 2015). Vzhledem k tomu, že se emisní nařízení (především pokutované limity CO₂) dotýkají všech automobilek, dochází ke zvýšení produkce (a následným prodejem) modelů, které disponují vysokým procentem hybridizace pohonu, především tedy plug - in hybridům. Následně jsou levnějším mild - hybridním řešením hybridizovány modely, které by jinak nadále používaly běžný spalovací agregát. Na produkci těchto 2 koncepcí je v posledních letech kladen vysoký důraz u mnoha automobilových společností, především pak těch evropských, jelikož tyto způsoby (společně se zařazením elektromobilů) jsou efektivní cestou, jak dosáhnout nízkých emisních hodnot prodaných kusů. Výjimkou je pak Toyota (Lexus), která má své jméno a modelové řady dlouhodobě založené na full hybridech, což jí umožňuje bezproblémově splňovat emisní limity díky faktu, že prodeje jejich vozů nejsou výrazně zatíženy modely s vysokými emisemi. Přesto však i ona zařazuje plug - in hybridní modely, avšak v jejím případě se jedná spíše o reakci na požadavky zákazníků, než skutečnou nutnost. U ostatních je pak jejich prodejnost otázkou, vzhledem k tomu, že se pouštějí na tenký led nových komodit, ke kterým byly okolnostmi dotlačeny (především mild hybridy). Preference zákazníků jsou různé, avšak jejich volbu lze výrazně ovlivnit podporou ze strany států, což se promítá do statistik prodeje v jednotlivých regionech. V České republice je bohužel podpora hybridních vozů výrazně malá, v jiných státech tomu tak ale není. Například v Norsku, Francii, Německu a Holandsku je koupě hybridních vozů dotována a v mnoha případech jsou pro majitele těchto aut připraveny i

další výhody jako parkování zdarma, či nižší silniční daně. V případě Norska bylo těchto výhod však až moc, což se následně vymklo kontrole a musely být zavedeny naopak jisté restriktce, jelikož hybridních vozů a elektromobilů začalo být už přespříliš.

Z hlediska komponent byl, je a bude hlavním problémem akumulátor energie. Dosavadní snahy vedou k lithiovým akumulátorům. Postupem let bylo vyvinuto několik modifikací, kdy každá dle svých parametrů, našla uplatnění v konkrétním účelu. Vývoj těchto článků neustále pokračuje, neboť dosud nebyl vyvinut jiný vhodnější typ elektrického akumulátoru, který by ty stávající předčil, zejména pak v hustotě energie. Z tohoto důvodu usuzuji, že v následujících letech bude vývoj dále pokračovat tímto směrem a prozatím se zůstane u článků na bázi lithia. Z dlouhodobého hlediska je však setrvání u lithia diskutabilní, vzhledem ke skutečnosti, že lithia je v zemské kůře jen 0,06 % [32] a tím pádem bude do budoucna nutno vyvinout jiný druh efektivních článků, ideálně za použití prvků, které jsou k dostání v hojnějším množství a za nižší cenu. Kam se vývoj v dlouhodobém horizontu přesune bohužel nelze s jistotou říci.

V případě elektromotorů je aktuální směr znám. Synchronní motory s permanentními magnety jsou aktuálně nejužívanějším druhem téměř ve všech odvětvích. Zdá se, že nabízejí z dostupných možností nejlepší vlastnosti pro využití v hybridním pohonu. Stejně jako v případě lithia je jejich budoucí použití lehce nejisté, především kvůli tomu, že k jejich výrobě jsou potřeba vzácné kovy, jako například neodym. Problém tkví ve faktu, že cca 90 % [115] světového trhu s vzácnými kovy ovládá Čína, která už v dřívější době zavedla systém kvót, které omezovaly vývoz vzácných kovů. Relativně jednoduše by poté mohlo dojít k situaci, kdy by Čína v tomto odvětví získala monopol a tím pádem by relativně jednoduše mohla regulovat produkci komponent na těchto materiálech závislých. Záležet tak bude spíše na jednotlivých výrobcích, jak s těmito skutečnostmi naloží.

Pokud se podívám na vývoj palubních sítí, mohu opět vycházet z rostoucích čísel prodejů vozů od mild hybridních systémů výše. Vzhledem k tomu, že aktuální trend hybridizace míří především k systémům, kde je možnost provozu v čistě elektrickém režimu, je zde i nutnost použití vyšších výkonů, které lze realizovat pouze zvýšením napětí, neboť zvyšování proudu by mělo za následek větší ztráty i vyšší hmotnost celého vozu. Proto se napětí systémů postupně zvyšovalo a prozatím ustálilo na hodnotách stovek voltů v závislosti na konkrétní potřebě. Nejvyššími hodnotami pak logicky disponují hybridní elektromobily a range extendery. Tuto skutečnost pozoruji i u relativně nízkonapěťového 48voltového systému, kdy

bylo místo běžné 12V sítě, použito zvýšené napětí alespoň v rámci omezených možností. Úsilí navýšit napětí (a s ním efektivitu), i kdyby jen lehce, je tedy zjevné.

Otázka, zda hybridní pohony mají smysl a budoucnost, je jasná alespoň v rámci dnešní doby a několika následujících let. Díky legislativě, která omezuje produkci škodlivin spalovacích motorů, je zřejmé, že jejich místo zde je a bude, minimálně do doby, než budou vyvinuty dostatečně výkonné akumulátory, které by byly schopné pokrýt dobu provozu, jež bude alespoň srovnatelná s konvenčním spalovacím pohonem (nahradily by je tedy pohony čistě elektrické). V některých situacích je ale použití hybridního pohonu dokonce nutností, neboť pokud pominu úsporu paliva a emisí, v mnoha případech je třeba mít 2 zdroje energie kvůli nemožnosti jednoho systému pracovat za určitých podmínek (např. tichý provoz). Navíc díky neustále se rozšiřujícím emisním zónám uvnitř měst, už v některých částech ani nelze provozovat vozidlo v jiném, než bezemisním režimu. Ocenitelným pozitivem, které nahrává hybridním koncepcím je také to, že některé druhy neobsahují alternátor, spojku, startér, řemeny k pohonu periferních komponent a například servis brzdového systému není nutné provádět tak často. Tím je eliminováno jisté riziko poruchy a případné budoucí náklady jsou sníženy. [15] To je pro potenciálního zákazníka logicky atraktivní nabídka. Poptávka po hybridních vozech a strojích samozřejmě roste díky obecně levnějšímu provozu. V některých případech je dalším lákadlem už zmiňované zvýhodnění v rámci parkování, levného dobíjení či jiných benefitů poskytovaných pouze elektromobilům a hybridním vozům. V jiných případech pak mohou přesvědčit i parametry a celkový jízdní / provozní projev.

12 Seznamy

12.1 Seznam literatury a použitých zdrojů

- [1] KOHEL, Petr. Pohonná jednotka hybridního vozidla. Praha, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [2] Definition of Hybrid Vehicle Technology. Hybrid vehicle - hybrid cars and trucks, fuel cell, clean fuel's [online]. Copyright © 2005 hybrid [cit. 30.12.2018]. Dostupné z: <http://www.hybrid-vehicle.org/hybrid-vehicle-definition.html>
- [3] První hybridní vůz postavil Čech. Buď Křižík nebo Porsche. Auto.idnes.cz [online]. Praha: MAFRA, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://auto.idnes.cz/prvni-hybridni-vuz-postavil-cech-bud-krizik-nebo-porsche-pey-/automoto.aspx?c=A091023_002851_automoto_vok
- [4] Prof. Ferdinand Porsche Created the First Functional Hybrid Car. Press.porsche.com [online]. Atlanta: Porsche Cars North America, 2011 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://press.porsche.com/download/prod/presse_pag/PressBasicData.nsf/Download?OpenAgent&attachmentid=1328029
- [5] Historie hybridních aut, 1. díl. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>
- [6] Historie hybridních aut, 2. díl. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-2-dil>
- [7] Sériový hybrid. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/seriovy-hybrid>
- [8] ŽIVEC, Michael. Použití hybridních pohonů v automobilovém průmyslu. Plzeň, 2015. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [9] MORKUS, Josef. Hybridní pohony 2018 - přednášky [online]. Praha, České vysoké učení technické, Fakulta strojní, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150/Hybridn%C3%AD%20pohony%202018/>
- [10] Paralelní hybrid. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/paralelni-hybrid>
- [11] Shifting Gears. Motor.com [online]. Michigan: Lypen, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: http://newsletter.motor.com/2017/20170516/!ID_ShiftingGears_EVTs.html
- [12] Shifting Gears. Motor.com [online]. Michigan: Lypen, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: http://newsletter.motor.com/2017/20170516/!ID_ShiftingGears_EVTs.html

- [13] HLINOVSKÝ, Tomáš. Druhy elektromotorů pro hybridní automobily. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta technologií a měření.
- [14] Hybridní moduly. Automobilrevue.cz [online]. Praha: Business Media CZ, 2008 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/technika/hybridni-moduly_29780.html
- [15] Toyota: hybridy oproti dieselu ušetří desítky tisíc a tuny emisí. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/toyota-hybridy-oproti-dieselu-usetri-desitky-tisic-tuny-emisi>
- [16] HRABAL, Martin. Hybridní pohony osobních automobilů. Brno, 2011. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta.
- [17] HAMMERBAUER, Jiří. Podklady k přednášce ZÁKLADNÍ ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY III.: 6. Olověné akumulátory. KAE/ENZ - Elektronické napájecí zdroje: Přednášky [online]. Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=76836
- [18] Start/Stop. Autolexicon.net [online]. Sajdl, c2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/startstop/>
- [19] DVOŘÁK, Karel. Elektrochemické zdroje v silniční dopravě. Plzeň, 2012. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta technologií a měření.
- [20] LARMINIE, James a John LOWRY. Electric vehicle technology explained. 2nd ed. Chichester: John Wiley, c2012. ISBN 9781119942733.
- [21] HAMMERBAUER, Jiří. Podklady k přednášce ZÁKLADNÍ ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY III.: Uzavřené sekundární články NiMh. KAE/ENZ - Elektronické napájecí zdroje: Přednášky [online]. Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni, 2013 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://portal.zcu.cz/wps/PA_Courseware/DownloadDokumentu?id=76836
- [22] Audi Q7 hybrid in hold, Q5 coming with lithium batter. Autoblog.com [online]. New York: Oath, 2008 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.autoblog.com/2008/07/31/audi-q7-hybrid-in-hold-q5-coming-with-lithium-battery/?guccounter=1>
- [23] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 9788024744551.
- [24] Atkinsonův cyklus: Vítané zpoždění. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/atkinsonuv-cyklus-vitane-zpozdeni-86271>
- [25] 20 YEARS OF THE TOYOTA PRIUS. Motor Age. 2018, 2018(137), 6. ISSN 1520-9385.
- [26] Hybrid Synergy Drive. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/slovnicek/hybrid-synergy-drive>

- [27] Toyota Prius 4. generace: první podrobnosti. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2014 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/toyota-prius-4-generace>
- [28] Toyota Prius - Třetí generace. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/toyota-prius-treti-generace-2106>
- [29] TOYOTA HYBRID SYSTEM. Toyota.co.jp [online]. Tokyo: Public Affairs Division, 2003 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.evworld.com/library/toyotahs2.pdf>
- [30] Toyota Prius XW10 (1997-2003): První hromadně vyráběný hybrid světa má 20 let!. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/toyota-prius-xw10-1997-2003-prvni-hromadne-vyrabeny-hybrid-sveta-ma-20-let-109005>
- [31] Toyota Prius information and specifications (every generation). Toyoland.com [online]. New Jersey: Zatz, 2002 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.toyoland.com/prius-specs.html>
- [32] Ve Francii vyvinuli sodíkové baterie ve formátu 18650. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/ve-francii-vyvinuli-sodikove-baterie-ve-formatu-18650>
- [33] 1st Generation Prius Transaxle - P111 Deep Dive. In: Youtube.com [online]. San Bruno: YouTube, 2017 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=roLqayjWpb0&t=5919s>
- [34] TOYOTA Prius 1997 - 2004. Autoevolution.com [online]. Bucharest: SoftNews NET, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://www.autoevolution.com/cars/toyota-prius-1997.html#aeng_toyota-prius-2000-15
- [35] Toyota Prius II – jak vlastně pracuje. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2003 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/toyota-prius-ii-jak-vlastne-pracuje-17792>
- [36] Enkele componenten uit de nieuwe Toyota Prius - model 2009. John2211.nl [online]. Netherlands: Visbeen, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: http://www.john2211.nl/Hybride_priusIII_components.htm
- [37] Prius Plug-In eligible for a \$1,500 California consumer incentive plus \$2,500 Federal tax credit. Greencarcongress.com [online]. San Francisco: BioAge Group, 2012 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2012/02/prius-20120228.html>
- [38] Toyota details powertrain advances in Gen4 Prius; available E-Four system for all-wheel drive (not for US). Greencarcongress.com [online]. San Francisco: BioAge Group, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2015/10/20151013-prius.html>
- [39] KIM, Hyunjun, Jingeon KANG a Dongsuk KUM. Impact of Speed Reduction (Multiplication) Gear on the Performance of Input- and Output-Split Hybrid Electric Vehicles [online]. In: . 2017-03-28, s. - [cit. 2018-12-31]. DOI: 10.4271/2017-01-1147. Dostupné z: <http://papers.sae.org/2017-01-1147/>

- [40] GHAYEBLOO, Abbas a Ahmad RADAN. Superiority of Dual-Mechanical-Port-Machine-Based Structure for Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle Applications. IEEE Transactions on Vehicular Technology [online]. 2016, 65(2), 589-602 [cit. 2018-12-31]. DOI: 10.1109/TVT.2013.2280837. ISSN 0018-9545. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6589152/>
- [41] TOYOTA PRIUS PLUG-IN HYBRID – Poprvé se třemi. Automobilrevue.cz [online]. Praha: Business Media CZ, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/svezli-jsme-se/toyota-prius-plug-in-hybrid-poprve-se-tremi_45728.html
- [42] 2016 Toyota Prius Hybrid Test Drive: Hybrid Pioneer Rewrites the Rule Book. Tflcar.com [online]. Boulder: The Fast Lane Car, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.tflcar.com/2015/12/2016-toyota-prius-hybrid-test-drive-review/>
- [43] Disassembly And Breakdown Of The 2017 Toyota Prius Li-Ion Battery. Insideevs.com [online]. Miami: Motorsport Network, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://insideevs.com/disassembly-of-the-2017-toyota-prius-li-ion-battery-video/>
- [44] Toyota Prius – Šílená tvarem, dokonalá spotřebou. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2016 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-toyota-prius-silena-tvarem-dokonala-spotrebou-95397>
- [45] GREBE, Uwe D. a Larry T. NITZ. Voltec – The Propulsion System for Chevrolet Volt and Opel Ampera. MTZ worldwide [online]. 2011, 72(5), 4-11 [cit. 2018-12-31]. DOI: 10.1365/s38313-011-0046-9. ISSN 2192-9114. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1365/s38313-011-0046-9>
- [46] Chevy Volt Delivers Novel Two-Motor, Four-Mode Extended Range Electric Drive System; Seamless Driver Experience Plus Efficiency. Greencarcongress.com [online]. San Francisco: BioAge Group, 2010 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2010/10/chevy-volt-delivers-novel-two-motor-four-mode-extended-range-electric-drive-system-seamless-driver-e.html>
- [47] Evropské Automobily roku: Opel Ampera/Chevrolet Volt (2012). Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2016 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/auto-roku-opel-ampera-98570>
- [48] Opel Ampera: První jízdní dojmy. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2011 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/opel-ampera-prvni-jizdni-dojmy-60673>
- [49] New PEUGEOT PLUG-IN HYBRID: So efficient, So Exciting!. Int-media.peugeot.com [online]. Paris: AUTOMOBILES PEUGEOT - 75, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://int-media.peugeot.com/en/new-peugeot-plug-hybrid-so-efficient-so-exciting-0>
- [50] Opel Ampera - Na vlastní kůži. Automobilrevue.cz [online]. Praha: Business Media CZ, 2011 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/svezli-jsme-se/opel-ampera-na-vlastni-kuzi_39945.html

- [51] Second-Generation Volt Transmission Operation Explained. [Http://e-hike.net](http://e-hike.net) [online]. Istanbul: e-Hike, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://e-hike.net/tr/content/second-generation-volt-transmission-operation-explained>
- [52] PATHFINDER HYBRID. Nissan.com.jo [online]. Japan: Nissan Motors Co., 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.nissan.com.jo/vehicles/new/pathfinder-hybrid.html>
- [53] MORKUS, Josef. Hybridní pohony 2013 - přednášky [online]. Praha, České vysoké učení technické, Fakulta strojní, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://studium.fs.cvut.cz/studium/u12120/2211150/Hybridn%C3%AD%20pohony%202013/>
- [54] RAHMAN, Khwaja, Sinisa JURKOVIC, Constantin STANCU, John MORGANTE a Peter SAVAGIAN. Design and performance of electrical propulsion system of extended range electric vehicle (EREV) Chevrolet Volt. In: 2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) [online]. IEEE, 2012, 2012, s. 4152-4159 [cit. 2018-12-31]. DOI: 10.1109/ECCE.2012.6342259. ISBN 978-1-4673-0803-8. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6342259/>
- [55] REPORT: Chevy Volt engine/generator uses Otto Cycle, not Atkinson. Autoblog.com [online]. New York: Oath, 2009 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.autoblog.com/2009/12/17/report-chevy-volt-engine-generator-uses-otto-cycle-not-atkinso/?gucounter=1>
- [56] MA, C., J. KANG, W. CHOI, M. SONG, J. JI a H. KIM. A comparative study on the power characteristics and control strategies for plug-in hybrid electric vehicles. *International Journal of Automotive Technology* [online]. 2012, 13(3), 505-516 [cit. 2018-12-31]. DOI: 10.1007/s12239-012-0048-x. ISSN 1229-9138. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12239-012-0048-x>
- [57] KANĚRA, Jaroslav. Planetový dělič pro pohon hybridního vozidla. Praha, 2018. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [58] GEN 1 - GEN 2 COMPARISONS. Gm-volt.com [online]. Toronto: VerticalScope, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://gm-volt.com/wp-content/uploads/2015/06/g12.png>
- [59] YOUNG, Kwo, Caisheng WANG, Le Yi WANG a Kai STRUNZ. Electric Vehicle Battery Technologies. GARCIA-VALLE, Rodrigo a João A. PEÇAS LOPES, ed. *Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks* [online]. New York, NY: Springer New York, 2013, 2013-10-30, s. 15-56 [cit. 2018-12-31]. DOI: 10.1007/978-1-4614-0134-6_2. ISBN 978-1-4614-0133-9. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-0134-6_2
- [60] Nový Chevrolet Volt 2016 - podrobnosti. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2014 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/novy-chevrolet-volt-2016-podrobnosti>
- [61] GM provides technical details of the Gen 2 Volt propulsion system used in the 2016 Volt. Greencarcongress.com [online]. San Francisco: BioAge Group, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2015/04/20150423-voltec.html>

- [62] MEETS THE HIGHEST EXPECTATIONS. Subaruserbia.com [online]. Zemun: SUBARU SRBIJA, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://subaruserbia.com/levorg/transmission/>
- [63] Gen 2 Volt Transmission Operating Modes Explained. Gm-volt.com [online]. Toronto: VerticalScope, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://gm-volt.com/2015/02/20/gen-2-volt-transmission-operating-modes-explained/>
- [64] Gen II Chevy Volt Propulsion System Shockingly Good. Wardsauto.com [online]. Kansas City: Informa USA, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.wardsauto.com/engines/gen-ii-chevy-volt-propulsion-system-shockingly-good>
- [65] KRAJÁNEK, Vladimír. Návrh synchronního motoru s permanentními magnety pro pohon elektromobilu. Plzeň, 2016. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická.
- [66] BRABEC, P. The projective design of an engine for a hybrid vehicle. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [online]. 2018, 421 [cit. 2018-12-31]. DOI: 10.1088/1757-899X/421/4/042005. ISSN 1757-899X. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1757-899X/421/i=4/a=042005?key=crossref.d656534b4702d9bf3dc3ee646a027553>
- [67] Integrated Motor Assist (IMA). Honda.co.nz [online]. Auckland: Honda New Zealand, 2014 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.honda.co.nz/technology/emissions/ima/>
- [68] 2000 Honda Insight. Automobiles.honda.com [online]. Torrance: American Honda Motor Co., c2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://owners.honda.com/vehicles/information/2000/Insight/specs#mid^ZE135YEW>
- [69] Test Honda Insight: hybrid pro každého?. Autorevue.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2010 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/test-honda-insight-hybrid-pro-kazdeho_7
- [70] Looking back on Honda's Insight into the future. Autoclassics.com [online]. Miami: Motorsport Network, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.autoclassics.com/posts/reviews/honda-insight-coupe-classic-hybrid>
- [71] Honda Insight: Hybrid na českých silnicích. Autoperiskop.cz [online]. Praha: Svět v bezpečí, 2000 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://autoperiskop.cz/honda-insight-hybrid-na-ceskych-silnicich/>
- [72] First-Generation Honda Insight: the Fine Print. Thedrive.com [online]. Des Moines: Time, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.thedrive.com/sheetmetal/9386/first-generation-honda-insight-the-fine-print>
- [73] Honda Insight 2010 - Dostupný hybrid. Automobilrevue.cz [online]. Praha: Business Media CZ, 2010 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/testy/honda-insight-2010-dostupny-hybrid_39387.html

- [74] Dismantled second gen battery pics?. Insightcentral.net [online]. El Segundo: vBulletin Solutions, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.insightcentral.net/forums/honda-insight-forum-2nd-gen-discussion/110177-dismantled-second-gen-battery-pics.html>
- [75] Honda Insight (2. generace). Vezpetnemzrcatku.cz [online]. Mirošov: Žižka, 2016 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://vezpetnemzrcatku.cz/honda-insight-2-generace/>
- [76] Volvo XC90 T8 Twin Engine Plug-in Hybrid AWD Inscription specs. Cars-data.com [online]. 2014 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.cars-data.com/en/volvo-xc90-t8-twin-engine-plug-in-hybrid-awd-inscription-specs/68225>
- [77] MORAVEC, Oto. Perspektivy elektrického pohonu automobilů. Praha, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická.
- [78] Electric cars - the future of mobility. Volvocars.com [online]. Göteborg: Volvo Car Corporation, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.volvocars.com/intl/cars/electric-cars>
- [79] Mercedes-Benz SLS AMG Coupé Electric Drive: Electrifying – the world's most powerful electric super sports car. Media.daimler.com [online]. Stuttgart: Daimler, c2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://media.daimler.com/marsMediaSite/en/instance/ko/Mercedes-Benz-SLS-AMG-Coup-Electric-Drive-Electrifying--the-worlds-most-powerful-electric-super-sports-car.xhtml?oid=9904727>
- [80] ZHANG, Xiaowu, Shengbo Eben LI, Huei PENG a Jing SUN. Design of Multimode Power-Split Hybrid Vehicles—A Case Study on the Voltec Powertrain System. IEEE Transactions on Vehicular Technology [online]. 2016, 65(6), 4790-4801 [cit. 2018-12-31]. DOI: 10.1109/TVT.2016.2531740. ISSN 0018-9545. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7414511/>
- [81] BMW ActiveHybrid 5: První jízdní dojmy. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2012 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/bmw-activehybrid-5-prvni-jizdni-dojmy-64730>
- [82] Evropské emisní normy: Jsou s námi už od roku 1970. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2016 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/technika-evropske-emisni-normy-jsou-s-nami-uz-od-roku-1970-94232>
- [83] MAROTTA, Alessandro, Jelica PAVLOVIC, Biagio CIUFFO, Simone SERRA a Georgios FONTARAS. Gaseous Emissions from Light-Duty Vehicles: Moving from NEDC to the New WLTP Test Procedure. Environmental Science & Technology [online]. 2015, 49(14), 8315-8322 [cit. 2018-12-30]. DOI: 10.1021/acs.est.5b01364. ISSN 0013-936X. Dostupné z: <http://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b01364>
- [84] Co přinesou následující roky z pohledu emisí a jejich měření? Opel nám dal odpověď. Autobible.euro.cz [online]. Praha: Mladá fronta, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/prinesou-nasledujici-roky-pohledu-emisi-mereni-opel-nam-dal-odpoved/>

- [85] WLPT a RDE – srozumitelný přehled o co jde. E-flotila.cz [online]. Praha: Technika, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.e-flotila.cz/aktuality/2207-wlpt-rde-automobilky-testy-emise>
- [86] Emisní předpisy mění svět aut a ztěžují automobilkám práci. Je to chaos. Auto.idnes.cz [online]. Praha: MAFRA, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://auto.idnes.cz/rozhovor-martin-hrdlicka-skoda-auto-konstrukter-emise-normy-co2-nox-oxid-dusiku-oxid-uhlicity-iic-/automoto.aspx?c=A180821_181736_automoto_fdv
- [87] Emisní norma EURO. Autolexicon.net [online]. Sajdl, c2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [88] Short Report on Oil Price History. Cafim.sssup.it [online]. Pisa: Scuola Superiore Sant'Anna, 2016 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: http://cafim.sssup.it/~giulio/other/oil_price/report.html
- [89] KOŠTÁL, Jan. Řízení BLCD motorů. Pardubice, 2013. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice, Fakulta elektrotechniky a informatiky.
- [90] ŠVÉDA, Pavel. Alternativní pohony silničních vozidel. Brno, 2016. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta.
- [91] MIYAMASU, Masataka a Kan AKATSU. Efficiency Comparison between Brushless DC Motor and Brushless AC Motor Considering Driving Method and Machine Design. IEEJ Journal of Industry Applications [online]. 2013, 2(1), 79-86 [cit. 2018-12-30]. DOI: 10.1541/ieejia.2.79. ISSN 2187-1094. Dostupné z: <http://japanlinkcenter.org/DN/JST.JSTAGE/ieejia/2.79?lang=en&from=CrossRef&type=abstract>
- [92] Global Plug-in Vehicle Sales for 2017 – Final Results. Ev-volumes.com [online]. Trollhättan: VENEDO, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.ev-volumes.com/news/global-plug-in-vehicle-sales-for-2017-final-results/>
- [93] Jak funguje superkapacitor?. Tzb-info.cz [online]. Praha: Topinfo, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/16916-jak-funguje-superkapacitor>
- [94] Volvo od roku 2019 nabídne pouze elektrická či hybridní auta. Auto.idnes.cz [online]. Praha: MAFRA, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://auto.idnes.cz/volvo-elektromobil-hybrid-d0p-/automoto.aspx?c=A170705_162321_automoto_fdv
- [95] Přehled hybridních automobilů na českém trhu. Archiv.ihned.cz [online]. Praha: Economia, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-66234730-prehled-hybridnich-automobilu-na-ceskem-trhu>
- [96] Hybrids, Plug-Ins and Electric Cars: Which Batteries Are Best?. Autoevolution.com [online]. Bucharest: SoftNews NET, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.autoevolution.com/news/hybrids-plug-ins-and-electric-cars-what-batteries-are-best-104634.html>

- [97] BU-107: Comparison Table of Secondary Batteries. Batteryuniversity.com [online]. Richmond: Cadex Electronics, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://batteryuniversity.com/learn/article/secondary_batteries
- [98] IONIQ electric. Hyundai.cz [online]. Offenbach am Main: Hyundai Motor Europe, 2016 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.hyundai.cz/files/download/model/ionic-electric/hme-ioniq-ev-22pp-final.pdf>
- [99] 2018 Kia Optima Plug-In Hybrid Edmonton AB. Kiawestedmonton.com [online]. Edmonton: Kia West Edmonton, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.kiawestedmonton.com/clp-2018-kia-optima-plug-in-hybrid-edmonton-ab>
- [100] Peugeot 3008 Hybrid4. Automotive.electronicspecifier.com [online]. Laddingford: Electronic Specifier, 2011 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://automotive.electronicspecifier.com/around-the-industry/peugeot-3008-hybrid4>
- [101] Mathematical modeling of the electric drive train of the sports car. Posterus.sk [online]. Bratislava: Systémy priemyselnej informatiky, 2012 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=13578>
- [102] Toyota chce dosáhnout 45% účinnosti motorů. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2011 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/toyota-chce-dosahnout-45-ucinnosti-motoru>
- [103] Močovina jako řešení snižování emisí: AdBlue podle odborníků udrží dieselové motory na scéně. Autobible.euro.cz [online]. Praha: Mladá fronta, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/mocovina-jako-reseni-snizovani-emisi-adblue-podle-odborniku-udrzi-dieselove-motory-scene/>
- [104] Le détail des composants de la nouvelle Toyota Prius 4 au salon automobile de Tokyo 2015. News.hybridlife.org [online]. Fontenay-le-Fleury: Wong, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://news.hybridlife.org/le-detail-des-composants-de-la-nouvelle-toyota-prius-4-au-salon-automobile-de-tokyo-2015>
- [105] Výrobci pracují na speciálních pneumatikách pro elektromobily a hybridy. Fdrive.cz [online]. Praha: 24net, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/vyrobci-pracuji-na-specialnich-pneumatikach-pro-elektromobily-a-hybridy-1995>
- [106] Everything You Need To Know About The Upcoming 48-Volt Electrical Revolution In Cars. Jalopnik.com [online]. New York: Gizmodo Media Group, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://jalopnik.com/everything-you-need-to-know-about-the-upcoming-48-volt-1790364465>
- [107] FEV and SEG develop 48V mild hybrid Mercedes AMG A45 demonstrator. Greencarcongress.com [online]. San Francisco: BioAge Group, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.greencarcongress.com/2018/12/20181213-fevseg.html>

- [108] 48-volt, mild hybrid. A shrewd fix to hybrid power shortfalls. Delphi.com [online]. Troy: Delphi Technologies, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.delphi.com/innovations/48-volt-mild-hybrid>
- [109] Your better path to electric vehicles. Delphi.com [online]. Troy: Delphi Technologies, 2017 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://www.delphi.com/innovations/path-electrification>
- [110] Volvo's way to electromobility. Proelektrotechniky.cz [online]. Praha: Slavík, 2014 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: http://www.proelektrotechniky.cz/pdf/KonferenceEbusyIII/Heuke_Emobility.pdf
- [111] Volvo představilo plug-in hybridní autobus 7900. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2014 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/volvo-predstavilo-plug-hybridni-autobus-7900>
- [112] RX 70-30 Hybrid. Directindustry.com [online]. ST OUEN: Agarik SAS, 2014 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: http://pdf.directindustry.com/pdf/still/rx-70-30-hybrid/14182-529257-_2.html
- [113] BALASHOV, Alexandr. Hybridní pohony užitkových vozidel, stavebních a zemních strojů. Praha, 2015. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [114] Jak funguje hybridní systém F1 aneb když MGU-K nestíhá dobíjet baterie Zdroj: <https://f1news.autoroad.cz/technika/49650-jak-funguje-hybridni-system-f1-aneb-kdyz-mgu-k-nestiha-dobijet-baterie>. F1news.autoroad.cz [online]. Praha: INCORP, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://f1news.autoroad.cz/technika/49650-jak-funguje-hybridni-system-f1-aneb-kdyz-mgu-k-nestiha-dobijet-baterie>
- [115] Čína zrušila vývozní kvóty na vzácné kovy. Aktualne.cz [online]. Praha: Economia, 2015 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/cina-zrusila-vyvozni-kvoty-na-vzacne-kovy/r~0a405b1694a111e49bec0025900fea04/?redirected=1545842532>
- [116] Flywheel hybrid systems (KERS). Racecar-engineering.com [online]. London: The Chelsea Magazine Company, c2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.racecar-engineering.com/articles/f1/flywheel-hybrid-systems-kers/>
- [117] Power unit and ERS. Formula1.com [online]. London: Formula One World Championship Limited, c2003-2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/rules-regs/Power_Unit_and_ERS.html
- [118] Motorsport Energy Recovery Systems (ERS). Zytekautomotive.co.uk [online]. Lichfield: Zytec Group Limited, 2013 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.zytekautomotive.co.uk/products/motorsport/hybrid-systems/>
- [119] Systémy MGU-K a MGU-H: Jak funguje hybridní pohon Formule 1?. Auto.cz [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER, 2018 [cit. 2018-12-30]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/systemy-mgu-k-a-mgu-h-jak-funguje-hybridni-pohon-formule-1-113150>

- [120] Images.google.com [online]. Mountain View: Google, 2017 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://images.google.com/>
- [121] Cars-data.com [online]. c2009-2018 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.cars-data.com/en/>
- [122] Toyota-global.com [online]. Toyota: Toyota Motor Corporation, 2017 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.toyota-global.com/>
- [123] Daimler.com [online]. Stuttgart: Daimler, 2017 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.daimler.com/en/>
- [124] Audi.com [online]. Ingolstadt: AUDI, 2017 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.audi.com/en.html>
- [125] Lexus.com [online]. Torrance: Lexus, a Division of Toyota Motor Sales, U.S.A., 2017 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.lexus.com/>
- [126] Acura.com [online]. Torrance: Acura, 2017 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: <https://www.acura.com/>
- [127] Honda.com [online]. Torrance: American Honda Motor Co., 2017 [cit. 2018-12-31]. Dostupné z: www.honda.com
- [128] Lithium-titanátové baterie: opomíjená technologie s velkým potenciálem?. Hybrid.cz [online]. Brandýs n.L. - Stará Boleslav: Chamanne, 2018 [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/lithium-titanatove-baterie-opomijena-technologie-s-velkym-potencialem>

12.2 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Lohner Mixte [5]	3
Obrázek 2 - Schéma kombinované koncepce - přepínatelná (vlevo), s dělením výkonu (vpravo) [1]	8
Obrázek 3 - Blokové schéma sériové, paralelní a kombinované koncepce [65]	9
Obrázek 4 - Srovnání typických parametrů dle stupně elektrizace [9]	12
Obrázek 5 - Symbolické značení pozice elektromotoru [11]	13
Obrázek 6 - Struktura superkondenzátoru [13]	18
Obrázek 7 - Princip setrvačnicku jako akumulátoru energie [20]	19
Obrázek 8 - Uspořádání BLDC motoru [89]	22
Obrázek 9 - Konstrukce PMSM [65]	24
Obrázek 10 - Schéma pohonu THS 1. generace v Toyotě Prius [23]	25
Obrázek 11 - Schéma děliče výkonu [23]	25
Obrázek 12 - Rozjezdový režim [23]	26
Obrázek 13 - Akcelerační režim [23]	27
Obrázek 14 - Vysokorychlostní režim [23]	27
Obrázek 15 - Uspořádání magnetů v rotoru [29]	30
Obrázek 16 - Schéma pohonného systému THS III [9]	31
Obrázek 17 - Schéma pohonného systému THS III [9]	32
Obrázek 18 - THS IV [9]	33
Obrázek 19 - Schéma pohonného řetězce Voltec I [53]	34
Obrázek 20 - První režim - EV - 1 elektromotor [46]	35
Obrázek 21 - Druhý režim - EV - 2 elektromotory [46]	35
Obrázek 22 - Třetí režim - hybridní (sériový) [46]	36
Obrázek 23 - Čtvrtý režim - hybridní (paralelní) [46]	37
Obrázek 24 - Schéma pohonného řetězce Voltec II [9]	38
Obrázek 25 - Systém Voltec II [63]	39
Obrázek 26 - Schéma EV režimu CD1 [63]	40
Obrázek 27 - Schéma EV režimu CD2 [63]	41
Obrázek 28 - Schéma dolního hybridního módu CS1 [63]	42

Obrázek 29 - Schéma hybridního režimu s konstantním převodem CS2 [63]	43
Obrázek 30 - Schéma horního hybridního módu CS3 [63].....	44
Obrázek 31 - Jednotlivé režimy systému Integrated Motor Assist [67].....	46
Obrázek 32 - Časová linka hybridních vozů Toyota.....	48
Obrázek 33 - Časová linka hybridních vozů Lexus.....	49
Obrázek 34 - Časová linka hybridních vozů Honda a Acura	50
Obrázek 35 - Časová linka hybridních vozů Audi	51
Obrázek 36 - Časová linka hybridních vozů Mercedes - Benz.....	52
Obrázek 37 - Schéma nastupujících emisních norem a metodik měření [84]	54
Obrázek 38 - Převodovka CVT (vlevo převod do pomala, vpravo převod do rychla) [62].....	63
Obrázek 39 - Příčný řez převodovkou DSG [9]	64
Obrázek 40 - Pohonný modul Toyoty Prius E - Four [104]	65
Obrázek 41 - Převodovky v hybridních pohonech [9]	66
Obrázek 42 - 48voltový systém Delphi [108]	69
Obrázek 43 - Volvo 7900 Electric Hybrid [111]	72
Obrázek 44 - STILL RX 70 - 30 Hybrid a schéma jeho hybridního pohonu [113].....	74
Obrázek 45 - Setrvačnický systém KERS s mechanickým variátorem [116]	74
Obrázek 46 - Komponenty pohonného systému F1 [119]	75

12.3 Seznam grafů

Graf 1 - Srovnání úspory paliva sériové a paralelní koncepce v závislosti na druhu provozu (s tím související průměrnou rychlostí) [66]	7
Graf 2 - Srovnání výkonových parametrů jednotlivých akumulátorů energie [9]	20
Graf 3 - Jednotlivé režimy systému Voltec I (vlevo čistě elektrické, vpravo hybridní) [45]	37
Graf 4 - Jednotlivé režimy systému Voltec II (vlevo čistě elektrické, vpravo hybridní) [61]	44
Graf 5 - Porovnání rychlostních profilů cyklů NEDC a WLTC (WLTP) [83]	54
Graf 6 - Vývoj cen ropy od roku 1986 [88]	57
Graf 7 - Celosvětové prodeje elektromobilů a plug - in hybridů [92]	57
Graf 8	62
Graf 9 - Momentová charakteristika elektromotoru s mapou účinnosti [101]	62
Graf 10 - Predikce vývoje trhu elektrifikovaných vozidel včetně 48V mild hybridů do roku 2025 (2017) [109]	70

12.4 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Okrajové podmínky metodiky Real Driving Emissions [85].....	55
Tabulka 2 - Přehled limitů emisních norem EURO I - EURO VI [87]	56
Tabulka 3 - Srovnávací tabulka Li - ion akumulátorů [97].....	60
Tabulka 4 - Automobilový výrobce a jím používaný druh elektromotorů a akumulátorů	61

12.5 Seznam symbolů a zkratk

HEV	Hybrid Electric Vehicle	(Hybridní vozidlo)
REEV	Range Extended Electric Vehicle	(Elektrické vozidlo s prodlouženým dojezdem)
BAS	Belt Alternator Starter	(Řemenový alternátor startér)
HSD	Hybrid Synergy Drive	
PHEV	Plug - in Hybrid Electric Vehicle	(Plug - in hybridní vozidlo)
CVT	Continuously Variable Transmission	(Převodovka s plynulou změnou převodu)
BLDC	BrushLess Direct Current - Motor	(Bezkartáčový stejnosměrný - motor)
THS	Toyota Hybrid System	
MG	Motor / Generator	(Motor / Generátor)
EV	Electric Vehicle	(Elektrické vozidlo)
EGR	Exhaust Gas Recirculation	(Recirkulace spalin)
GM	General Motors	
IMA	Integrated Motor Assist	
NEDC	New European Driving Cycle	(Nový evropský jízdní cyklus)
UDC	Urban Driving Cycle	(Městský jízdní cyklus)
EUDC	Extra Urban Driving Cycle	(Mimoměstský jízdní cyklus)
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure	(Celosvětově harmonizovaný zkušební postup pro lehká vozidla)
WLTC	Worldwide harmonized Light vehicles Test Cycle	(Celosvětově harmonizovaný zkušební cyklus pro lehká vozidla)
PMSM	Permanent Magnet Synchronous Motor	(Synchronní motor s permanentními magnety)
ECVT	Electrically Controlled Variable Transmission	(Elektricky řízená převodovka s proměnným převodem)
RDE	Real Driving Emissions	(Emise v reálných podmínkách jízdy)
CF	Conformity Factor	(Faktor shody)
DHT	Dedicated Hybrid Transmission	(Speciální hybridní převodovka)
DSG	Direct - Shift Gearbox	
SAM	Integrated Starter Alternator Motor	
SCR	Selective Catalytic Reduction	(Selektivní katalytická redukce)

DPF	Diesel Particulate Filter	(Filtr pevných částic)
KERS	Kinetic Energy Recovery System	(Systém rekuperace kinetické energie)
ERS	Energy Recovery System	(Systém rekuperace energie)
MGU - K	Motor Generator Unit - Kinetic	(Motor genarátorová jednotka - kinetická)
MGU - H	Motor Generator Unit - Heat	(Motor genarátorová jednotka - tepelná)
4WD	Four - Wheel Drive	(Pohon čtyř kol)
GPS	Global Positioning System	(Globální polohový systém)
Ni - MH	Nikl - metalhydrid	
Ni - Cd	Nikl - cadmium	
Li - ion	Lithium - ion	
LTO	Lithium - titan - oxid	
Li - pol	Lithium - polymer	
LiFePO4	Lithium - iron - phosphate	(Lithium - železo - fosfát)
Pb	Plumbum	(Olovo)
NO _x	Nitrogen Oxides	(Oxidy dusíku)
CO	Carbon Oxides	(Oxidy uhlíku)
HC	Hydrogen - Carbon	(Uhlovodík)
PČ		(Pevné částice)