

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Institut celoživotního vzdělávání**

**Analýza technických parametrů hybridních a elektrických  
pohonů osobních automobilů**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce:  
prof. Ing. František Bauer, CSc.

Vypracovala:  
Ružena Žižková

Brno 2017

Na této stránce bude vložen originální formulář Zadání bakalářské práce. Vystavený, podepsaný a orazítovaný formulář Vám připraví vedoucí bakalářské práce před jejím svázáním.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: **Analýza technických parametrů hybridních a elektrických pohonů osobních automobilů** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

---

Velmi děkuji prof. Ing. Františku Bauerovi, CSc., vedoucímu práce, za ochotu, odborné vedení a cenné rady při psaní této práce. Také bych chtěla poděkovat své rodině za podporu během studia.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá vybranými typy alternativních pohonů pro osobní automobily. Je zaměřena na jejich funkci a popis aktuálních technologií.

První část řeší hybridní pohon. Nastiňuje historie hybridu, základní funkční prvky a rozdělení typů těchto vozidel. V závěru je zhodnocení hybridního pohonu a pohled do budoucnosti.

Další kapitola obdobně popisuje pohon elektrický, kde jsou více popsány akumulátory (zdroje energie). Také je zde zmíněna problematika dobíjecích stanic a závěrečné zhodnocení.

Závěr je určen vlastnímu zhodnocení technických parametrů s přehledem vybraných hybridních a elektrických vozidel, jež jsou v současnosti užívána v běžném provozu.

## **Klíčová slova**

Hybridní pohon, elektrický pohon, elektromotor, akumulátor, baterie

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with selected types of alternative engines for cars. It is focuses on their function and description of current technologies.

The first part focuses on the hybrid drive. It outlines the history of the hybrid, the basic functional elements and the categories of these types of vehicles. In conclusion, there is an evaluation of the hybrid engine and a look into the future.

Next chapter describes an electric engine, where accumulators (energy sources) are further described. There is also mentioned the issue of charging stations and a final evaluation.

The conclusion is intended for my own evaluation of the technical parameters from an overview of selected hybrid and electric vehicles, which are currently used in a regular traffic.

## **Keywords**

Hybrid engine, electric engine, electric motor, accumulator, battery

**Obsah**

<b>1</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>METODIKA ZPRACOVÁNÍ – MATERIÁL A METODY</b>	<b>12</b>
3.1	Metodika zpracování teoretické části práce – materiál a metody.....	12
3.2	Metodika zpracování praktické části práce – materiál a metody.....	12
<b>4</b>	<b>HYBRIDNÍ POHON</b>	<b>13</b>
4.1	Historie .....	13
4.2	Uspořádání ústrojí hybridního pohonu .....	15
4.2.1	Sériové.....	16
4.2.2	Paralelní.....	17
4.2.3	Smíšené (kombinované).....	18
4.3	Dělení hybridních vozidel .....	19
4.3.1	Full hybrid.....	19
4.3.2	Power assist hybrid .....	19
4.3.3	Mikro hybrid .....	19
4.3.4	Plug-in hybrid.....	19
4.3.5	Diesel hybrid .....	20
4.4	Zásobníky energie.....	20
4.4.1	Mechanické akumulátory energie .....	20
4.4.2	Vysokoenergetické kondenzátory .....	21
4.4.3	Baterie (akumulátory) .....	21
4.5	Rekuperace kinetické energie .....	21
4.6	Budoucnost hybridních vozidel .....	22
4.7	Zhodnocení hybridního pohonu.....	23
<b>5</b>	<b>ELEKTRICKÝ POHON</b>	<b>24</b>
5.1	Historie .....	24
5.2	Elektromotor .....	29
5.3	Ústrojí elektromotoru .....	29

---

5.4	Typy elektromotorů .....	30
5.4.1	Stejnoseměrný elektromotor .....	30
5.4.1.1	Se sériovým buzením .....	31
5.4.1.2	S cizím buzením .....	31
5.4.1.3	S derivačním buzením .....	32
5.4.1.4	Se smíšeným buzením .....	32
5.4.2	Střídavý elektromotor .....	33
5.4.2.1	Asynchronní .....	33
5.4.2.2	Synchronní s permanentním buzením .....	34
5.4.2.3	Magnetický elektromotor .....	35
5.4.2.4	Transversální elektromotor .....	35
5.4.2.5	Řízený reluktanční motor .....	36
5.5	Akumulátory a energetické zásobníky .....	37
5.5.1	Olověný akumulátor .....	37
5.5.2	Nikl – kadmium .....	38
5.5.3	Nikl – metal – hydrid .....	39
5.5.4	Lithium – iont .....	40
5.5.5	Sodík – síra .....	41
5.5.6	Lithium – síra .....	41
5.5.7	Lithium – polymer .....	41
5.6	Nabíjení elektromobilů .....	42
5.7	Budoucnost vozidel na elektrický pohon .....	44
5.8	Zhodnocení elektrického pohonu .....	45
<b>6</b>	<b>TECHNICKÉ PARAMETRY VYBRANÝCH VOZIDEL</b> .....	<b>46</b>
6.1	Hybridní pohon .....	46
6.2	Elektrický pohon .....	48
6.3	Analýza získaných technických parametrů .....	50
6.3.1	Grafické porovnání parametrů vybraných hybridních vozidel .....	50
6.3.2	Zhodnocení grafického porovnání parametrů vybraných hybridních vozidel .....	53
6.3.3	Grafické porovnání parametrů vybraných elektromobilů .....	54
6.3.4	Zhodnocení grafického porovnání parametrů vybraných elektromobilů .....	58

<b>7</b>	<b>DISKUZE</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</b>	<b>63</b>
9.1	Literární zdroje .....	63
9.2	Elektronické zdroje.....	63
<b>10</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>SEZNAM TABULEK</b>	<b>67</b>



## 1 ÚVOD

Vzhledem ke globálnímu problému s docházejícími zásobami ropy i fosilních paliv a neuvěřitelně rychle se rozrůstajícímu znečištění životního prostředí, dospělo lidstvo k palčivému poznání nutnosti hledat alternativní a obnovitelné zdroje energie.

Automobilový průmysl také zanechal svou nesmazatelnou stopu uvolňováním škodlivých plynů v podobě emisí, což velkou mírou přispívá k tzv. skleníkovému efektu a následnému globálnímu oteplování. Právě tato fakta jsou důvodem, proč se lidé zabývají vývojem alternativních pohonů pro odvětví dopravy.

Objeveno je již několik druhů alternativních pohonů, z nichž nejdůležitější jsou pohony plynové, hybridní, elektrické a vodíkové. Využívají se i pohony sluneční a vzduchové.

Z ekologického hlediska se nejperspektivněji jeví pohon elektromotorem, zejména pro jeho jednoduchost, bezhlučnost a bezemisní provoz. Na trhu figuruje již několik let, ale prozatím se neseťkal se širším zájmem zákazníků. Velikost, hmotnost a náklady baterií jsou problémem výroby vozidel s dostatečným výkonem, dojezdem a cenou, kterou je ochoten zájemce zaplatit. Snad je jen otázkou času, kdy se objeví technologie naplňující tato očekávání.

Dalším systémem je hybridní pohon. Tento pohon se skládá ze dvou či více na sobě nezávislých zdrojů energie. Možnou alternativní technologii pro blízkou budoucnost můžeme vidět v pohonu skládajícího se z klasického spalovacího motoru a elektromotoru. Hybridní vozidla zachovávají výhody spalovacích motorů a elektromobilů a současně potlačují jejich nevýhody. V závislosti na okolnostech jízdy (nabití, akcelerace) automobil využívá nejvýhodnější režim. Dochází k dobíjení baterie v průběhu jízdy, baterie tedy mohou být menší a levnější než u elektromobilů.

*„V Evropské unii se členské státy zavázaly k plnění emisní normy, tzv. Euro n. Tato norma stanovuje limitní hodnoty škodlivých látek ve výfukových exhalacích u naftových i benzínových motorů pro motorová vozidla měřených jako hmotnost emitované škodliviny na ujetou vzdálenost. Tyto normy stanovují limity uhlovodíků (HC), oxidů dusíku (NOx), oxidu uhelnatého (CO) a pevných částic (PM), nezabývají se tedy oxidem uhličitým ani sirnými sloučeninami. Normy se vydávají postupně očíslovány, normy s arabskými číslicemi připadají na osobní a lehké užitkové automobily a normy s římskými*

*číslicemi se vážou na autobusy a nákladní automobily. Od roku 2014 je platná norma Euro 6 (VI).*

*Lze konstatovat, že rychlost, jakou budou alternativní paliva zaváděna do procesu, záleží spíše na politických rozhodnutích, dostupnosti surovin a vývoji energetické koncepce v celosvětovém měřítku. Nicméně je nutné si v současné době uvědomit naši vysokou závislost na zpracování ropy a snažit se nalézt alternativní východiska a řešení co nejdříve, jelikož není úplně jasně predikovatelné, jak dlouho doopravdy můžeme ještě na ropu spoléhat (Vinklerová, 2016).“*

## **2 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Cílem bakalářské práce je uvedení současného stavu v konstrukcích osobních automobilů s hybridním a elektrickým pohonem. Dalším cílem bylo shromáždit technicko-ekonomické parametry vybraných typů vozidel. Technické parametry graficky zpracovat a ze získaných hodnot provést analýzu a formulovat závěry.

### **3 METODIKA ZPRACOVÁNÍ – MATERIÁL A METODY**

#### **3.1 Metodika zpracování teoretické části práce – materiál a metody**

Materiály využití ke zpracování teoretické části bakalářské práce jsou převážně internetové zdroje, odborná literatura zabývající se alternativními pohony automobilů, časopisy a pořady.

Metodikou teoretické části je analýza, srovnávání a syntéza teoretických poznatků z výše popsaných zdrojů.

#### **3.2 Metodika zpracování praktické části práce – materiál a metody**

Materiálem praktické části jsou získaná data technických parametrů vybraných vozidel. Zdroj: internet a katalogy výrobců.

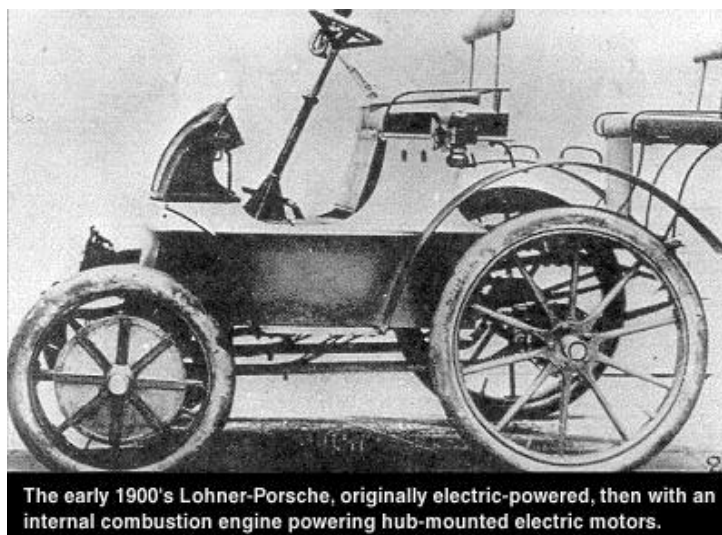
Metodika praktické části práce je porovnání a záznam technických parametrů za pomoci programu Excel do tabulek a grafů.

## 4 HYBRIDNÍ POHON

Hybridním pohonem rozumíme pohon vozidla s více poháněcími zdroji, jímž je kombinace vždy dvou odlišných systémů pohonu. Nejvhodnější kombinací bývá spojení klasického spalovacího či vznětového motoru s elektromotorem. Jde o snahu efektivního spojení výhod obou pohonů.

### 4.1 Historie

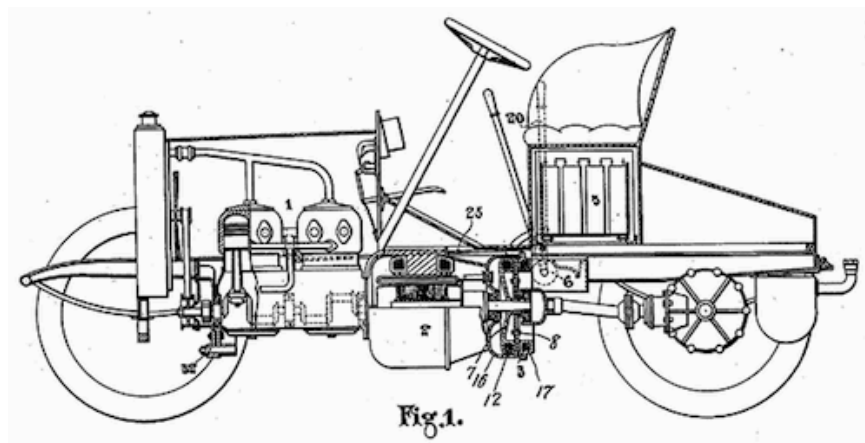
Počátek hybridního pohonu je prakticky stejně starý jako automobilismus sám. První vůz kombinující více pohonů byl Lohner-Porsche (1899). Spalovací motor poháněl generátor vyrábějící elektrickou energii pro elektromotory umístěné v nábojích přední poháněné nápravy (AUTO CZ, 2008).



*Obr. 1: Lohner Porsche Mixte hybrid*

*Zdroj: [www.motorstown.com](http://www.motorstown.com)*

Elektrický kočár Lohner nazvaný Mixte se stal obrovskou senzací na Světové výstavě v Paříži roku 1900. Tehdy se prodalo na 300 kusů vozů. V roce 1901 Porsche zvítězil se svým strojem na Exelberg Rally. Ujel 50 km max. rychlostí 50 km/h. Nová, modernizovaná verze využívala elektromotory umístěné přímo do všech čtyř kol. Dosahovala maximální rychlosti 110 km/h.



Obr. 2: Patentový náčrt hybridního auta Henriho Piepera

Zdroj: [www.hybrid.cz](http://www.hybrid.cz)

Roku 1905 podal Němec Henri Pieper k americkému patentovému úřadu žádost o patentování svého vynálezu - hybridního pohonu stejného typu, jaký vynalezl Porsche. Během první dekády 20. století pak společnosti General Electric v Americe a Siemens v Německu vyráběly a prodávaly nejen elektromobily, ale i hybridy.

V roce 1915 společnost Woods Motor Vehicle vytvořila systém pohonu "Dual Power". V podstatě šlo o paralelní hybrid (který však už ve svém patentu popsal také Pieper). Hybridy vyráběla například také Galt Motor Company z kanadského Ontaria. Všem ale nakonec učinila přítrž levná nafta, vylepšení spalovacího motoru, elektrické startéry a především výrobní linka Henryho Forda, která nezastavitelně chrlila Model T. Elektromobily, parní i hybridní auta začala ustupovat do pozadí (Horčík, Historie hybridních aut, 1. díl, 2009).“

Hybridy a elektromobily byly první dvě dekády 20. století velmi oblíbeným dopravním prostředkem, poté nastala odmlka trvající déle jak čtyřicet let. V průběhu druhé poloviny 60. let způsobil rozkvet automobilové dopravy znečištění ovzduší ve Spojených státech. Americký Kongres představil v roce 1966 první zákony, jež měly znečištění omezit.

„General Motors proto už v roce 1965 začali s hybridními auty experimentovat. Kódové označení jednoho z jejich prvních hybridů znělo GM 512. Byl vybaven benzínovým dvouválcem, elektromotorem a bateriemi. Čistě na elektrinu mohl jet rychlostí až 20 km/h. Max. rychlost však byla omezena na 64 km/h (Horčík, Historie hybridních aut, 2. díl, 2009).“



*Obr. 3: General Motors GM 512*

*Zdroj: [www.hybrid.cz](http://www.hybrid.cz)*

Motivací vynálezců a konstruktérů bylo také ropné embargo Arabských států vyhlášené v roce 1973 neboli první ropná krize.

Skutečný průlom přinesl slavný konstruktér a spoluvynálezce elektromobilu Victor Wouk, který společně s Charliem Rosenem v roce 1974 vytvořil prototyp hybridního auta ze starého modelu Buick Skylark. Hybridní auta v 70. letech neměla perspektivu. Neexistovala žádná vládní podpora pro jejich vývoj (Horčík, Historie hybridních aut, 2. díl, 2009).

V roce 1979 vyšel článek o tom, jak si jistý David Arthurs ze Springdale v Arkansasu přestavěl starý Opel GT na hybridní pohon, ale především byl jedním z prvních, kteří do svého hybridního auta zabudovali regenerativní brzdění čili rekuperaci.

Audi uvedlo první experimentální verzi vozidla Audi Duo v roce 1989, řidič si mohl zvolit, zda chce zrovna jet na elektřinu nebo normální motor. V roce 1992 ohlásila japonská automobilka Toyota program "Smlouva o pronájmu země", za pět let uvedla na trh dnes již legendární Toyotu Prius (Horčík, Historie hybridních aut, 3. díl, 2009).

To byl velký impuls pro ostatní automobilky a v posledních letech téměř všechny nabízí hybridní verze svých automobilů.

## **4.2 Uspořádání ústrojí hybridního pohonu**

*„Nezávisle na různém uspořádání převodu a spojek lze podle toku výkonu rozdělit hybridní pohon na tři základní koncepce. Hlavní rozdíl různých systémů tvoří sériové, paralelní nebo smíšené uspořádání. Akumulátor může být dobíjen externě (Vlk, 2004).“*

### 4.2.1 Sériové

Sériový hybrid má pohon výhradně elektromotorem, který pohání kola přímo přes redukční převod bez klasické převodovky. Jako zdroj energie má také spalovací motor/generátor ve funkci trakčního motoru, či k dobíjení baterie. Jednotlivé komponenty jsou uspořádány za sebou. Mechanické spojení spalovacího motoru pro pohon vozidla je možné při konstantních otáčkách v optimálním režimu.

Baterie je mnohem menší než u elektrického vozidla. Nemůže-li pokrýt momentální potřebu energie, je automaticky nastartován spalovací motor (Kameš, 2004).

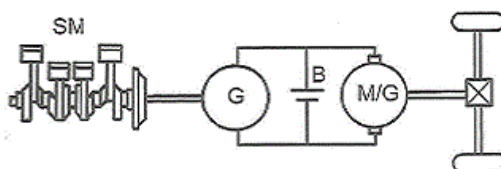
#### Výhody:

- Obejde se bez mechanické vazby mezi spalovacím motorem a poháněcími koly.
- Chybí klasická převodovka – jednoduchost.
- Spalovací motor pracuje ve velmi úzkém pásmu otáček, tudíž je jeho chod maximálně efektivní.
- Vysoká účinnost hnacího řetězce při městských jízdách.

#### Nevýhody:

- Omezený výkon pohonu. Z toho pramení nevhodnost pro rychlý dálniční provoz.
- Specifický zvuk hnacího řetězce ne každému vyhovuje.
- Vysoká cena a hmotnost pohonu.
- Nižší účinnost při jízdách na delší vzdálenost (chybí převodovka).

(Dusil, 2016)



SM-spalovací motor, G-generátor, B-baterie, M/G-motor-generátor

Obr. 4: Schéma sériového hybridního systému

Zdroj: Kameš, 2004

**Příklad použití:** BMW i3 REX, Chevrolet Volt, Opel Ampera, Fisker Karma.



#### 4.2.2 Paralelní

Zde spalovací motor může přímo pohánět vozidlo, a to přes klasickou převodovku a dále přes redukční převod. Naopak elektromotor pohání kola pouze přes zmíněnou redukci. U paralelního hybridu je elektromotor i generátor tvořený jednou jednotkou, u sériového jde o dvě různá zařízení.

Paralelní konfigurace umožňuje práci pohonu ve čtyřech režimech v závislosti na jízdních podmínkách. Vozidlo může pohánět elektromotor i kombinace elektromotoru a spalovacího agregátu, dále zde máme režim dobíjení akumulátoru a potom rekuperace brzděné energie (Dusil, 2016).

*„Maximální otáčky elektromotoru odpovídají maximálním otáčkám spalovacího motoru. Současným zapnutím obou zdrojů energie je možno při nízkých otáčkách motoru zvyšovat tažnou sílu (Vlk, 2004).“*

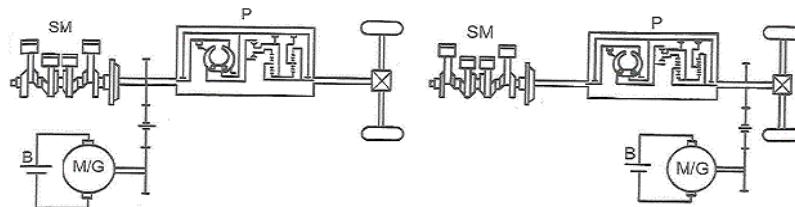
##### Výhody:

- Vynikající účinnost i při jízdě na dlouhé vzdálenosti a vyšší rychlostí.
- Jednoduchost systému (elektromotor/generátor je jeden celek).
- Servisní náročnost (opravují se skoro jako běžná auta).

##### Nevýhody:

- Spalovací motor je zde hlavním pohonem, takže musí pracovat v běžném rozsahu otáček.

(Dusil, 2016)



SM-spalovací motor, P-převodovka, B-baterie, M/G-motor-generátor

Obr. 5: Schéma paralelního hybridního systému

Zdroj: Kameš, 2004

**Příklad použití:** Honda IMA, BMW 7 Series ActiveHybrid.

### 4.2.3 Smíšené (kombinované)

„Nevýhody základních koncepcí paralelního a sériového uspořádání vedly k vývoji smíšeného hybridního systému. Jeho vybavení spalovacím motorem, elektromotory, komponentami převodů, spojkou, volnoběžkami, brzdami je libovolně rozmanité (Vlk, 2004).“  
Technicky je nejkomplicovanější a také nejdražší.

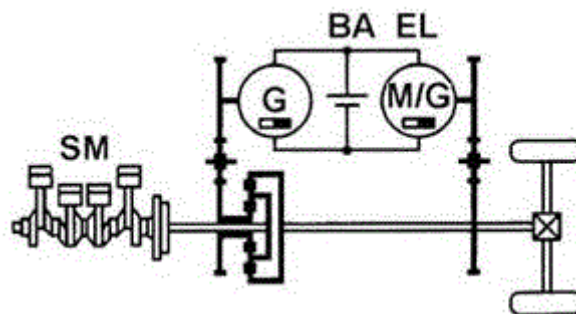
#### Výhody:

- Umožňuje nejlépe rozličné jízdní režimy, kdy vozidlo pohání třeba jen elektromotor.
- Nejlepší předpoklady pro jízdu čistě na elektriku.
- Spalovací motor nemusí být tolik výkonný, takže se konstruktéři mohou soustředit více na účinnost.

#### Nevýhody:

- Složitost celé konstrukce.
- Vyžaduje specifickou (hybridní) převodovku.
- Vyšší cena než u paralelního hybridu.

(Dusil, 2016)



Obr. 6: Schéma smíšeného hybridního systému

Zdroj: Vlk, 2004

**Příklad použití:** Toyota HSD, Ford Mondeo HEV, Lexus CT200h, Lexus RX400h.

### 4.3 Dělení hybridních vozidel

#### 4.3.1 Full hybrid

Jedná se o plně hybridní vozidla, umožňují provoz pouze na elektřinu, k tomu potřebují akumulátor o vyšší kapacitě, jejich baterie jsou na několik desítek kilometrů, aby pokryly nejčastější městské popojíždění. Provoz lze realizovat za pomoci jak elektrického, tak spalovacího motoru dle aktuální potřeby a výhodnosti daného řešení. Nevýhodou je složitost, náročnost na případné opravy a samozřejmě cena (Jirka, 2015).

#### 4.3.2 Power assist hybrid

U tohoto systému slouží elektromotor téměř výhradně v roli pomocníka spalovacího motoru. Třeba při rozjezdu či předjíždění vozidla. Sice také nabízí EV mód neboli režim jízdy pouze na elektriku, ten je zde ovšem v porovnání s Full hybridem dost omezený (Dusil, 2016). Elektromotor je obvykle umístěn mezi motor a převodovku a může při jízdě z kopce nebo brzdění dobíjet akumulátor.

#### 4.3.3 Mikro hybrid

Mikro hybridní automobily jsou dnes již naprosto běžné – jde jen o vylepšený systém Stop & Start s možností rekuperace brzděné energie, který vypíná motor v nízké rychlosti ještě před zastavením automobilu, často spojený s kondenzátorem, který následně pomáhá se startem spalovacího motoru, který není opětovně spouštěn startérem, nýbrž reverzibilním alternátorem přes řemen pohonu příslušenství. Co se spotřeby automobilu týče, nepřináší velké zlepšení (Dusil, 2016; Jirka, 2015).

#### 4.3.4 Plug-in hybrid

*„Plug-in hybrid může být vlastně kterýkoliv z předchozích typů. Pouze musí mít schopnost dobíjet trakční akumulátor ze sítě. Takto udělané hybridy mají za tímto účelem baterie zpravidla lithium-ion, přičemž umožňují ujet na elektriku podstatně delší vzdálenost než klasické hybridy (Dusil, 2016).“*

Při elektrickém pohonu je obvykle omezena maximální rychlost a v případě požadavku vysokého výkonu je ihned startován spalovací motor. V současnosti mají největší smysl právě tyto hybridní varianty, na což se také automobilky soustředí (Jirka, 2015).

#### **4.3.5 Diesel hybrid**

Běžné řešení hybridního pohonu spočívá ve spojení benzinového (zážehového) a elektrického motoru. Některé automobilky však místo benzinového zkoušejí diesellový (vznětový). Ten má výhodu v nižší průměrné spotřebě paliva, nevýhodou je jeho složitost a vyšší emise např. prachových částic (Hybrid.cz, 2007).

### **4.4 Zásobníky energie**

Energie pro spalovací motor je zpravidla přiváděna z nádrže vozidla ve formě benzínu či nafty. K zásobování elektrickou energií slouží baterie, vysokoenergetické kondenzátory a také setrvačnick, jehož nahromaděná mechanická energie může být přeměněna generátorem na elektrickou. Volba zásobníků závisí také na koncepci pohonných komponentů (Kameš, 2004).

#### **4.4.1 Mechanické akumulátory energie**

Jedním z efektivních způsobů krátkodobého uložení energie ve vozidlech je setrvačnick (Plomer, 2010).

Brzdící kinetická energie je předávána setrvačnicku a později pomocí generátoru využita pro další jízdu. Zpravidla je deskovitého tvaru a zásobní kapacita závisí na maximálních otáčkách a rozdělení hmotnosti. „Rotační hmotnosti vyvolávají vysoké síly, proto je sestaven z pevnostní oceli legované vysokohodnotným titanem a vláknitým spojovacím materiálem (Kameš, 2004).“

Akumulovaná energie postačí vozidlu k dojezdu přibližně 3 km a úspora paliva v hybridní soustavě proti konvenčním pohonům je asi 30 %, přičemž samotnému setrvačnicku je odhadem přičítáno asi 10 % (Plomer, 2010).

Setrvačnick je u malých osobních vozidel umístěn na klikové hřídeli, popřípadě pomocí převodů s hnací nápravou. Velkou výhodou je práce bez opotřebení, bez chemikálií a vysoká životnost (Kameš, 2004).

#### 4.4.2 Vysokoenergetické kondenzátory

Elektrosoučástka s vysokou životností pro opakované použití, jež dodává přímo další dávku elektrické energie vybíjením a nabíjením, užívanou při akceleraci a velkém zatížení vozidla. Vysokoenergetické kondenzátory uchovávají energii ve formě elektrostatické energie. Existují kondenzátory na bázi keramiky, svitkové nebo metalické.

Tzv. superkondenzátory dosahují kapacity až 10000 faradů. Jsou založeny na využití elektrické dvouvrstvy. Mezi elektrodami z porézního uhlíku je tekutý nebo gelový elektrolyt. Porézní uhlík zaručuje extrémně velký měrný povrch a velmi nízký odpor přírodních elektrod, což zaručuje vysokou rychlost nabíjecího a vybíjecího procesu. Průrazné napětí je velmi nízké, nepřesahuje 2,3 V (Kameš, 2004).



Obr. 7: Složení superkondenzátoru

Zdroj: [www.automatizace.hw.cz](http://www.automatizace.hw.cz)

#### 4.4.3 Baterie (akumulátory)

Baterie jsou klíčovou součástí každého elektrického auta, hybridu i elektromobilu. U hybridních vozidel musíme zohlednit, že se baterie dobíjí a vybíjí pouze částečně. Pro vyšší výkon se užívá nikl-kadmiová baterie nebo nikl-metal-hydridová baterie. Za účelem vyššího dojezdu se užívají baterie vysokoenergetické hustoty (Kameš, 2004). V současné době se nejčastěji v autech využívají lithium-iontové baterie.

### 4.5 Rekuperace kinetické energie

„Rekuperace je proces přeměny kinetické energie dopravního prostředku zpět na využitelnou elektrickou energii při brzdění. Tato energie se buď ukládá do akumulátorů při-

mo v dopravním prostředku, nebo se vrací do napájecí soustavy a pohání např. elektromotor (Hybrid.cz, 2007).“

#### 4.6 Budoucnost hybridních vozidel

S hybridními automobily můžeme v blízké budoucnosti rozhodně počítat hlavně díky neustále se vyvíjejícím technologiím, jež je čím dál více staví jako plnohodnotnou konkurenci tradičním osobním vozidlům. Díky své dobré účinnosti mají i dobré emise. Můžeme je považovat za vhodnou ekologickou alternativu současných automobilů se spalovacím motorem.

Již existuje mnoho států, které prodej hybridních automobilů legislativně zvýhodňují a mnoho velkých měst pouští do centra automobily za vysoké poplatky, ale hybridní automobily zdarma.

Naprosto vypovídající jsou zveřejněné výsledky prodeje společnosti Toyota Motor Corporation (TMC) k 31. lednu 2017. Poprvé byl překonán milník 10 milionu vozů. „Tento úspěch je dokladem budoucího potenciálu technologie, z níž se dnes stává již všeobecně akceptovaná cesta ke snižování emisí skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek (Auto-mania.cz, 2017).“

Tab. 1: Prodej hybridních vozů značky Toyota na základě údajů TMC (v tis. vozidlech)

Zdroj: [www.auto-mania.cz](http://www.auto-mania.cz)

	Celosvětově	Japonsko	Severní Amerika	Evropa	Ostatní země	Úhrnné součty
1997	0,3	0,3	-	-	-	0,3
1998	17,6	17,6	-	-	-	18,0
1999	15,2	15,2	-	-	-	33,2
2000	19,0	12,5	5,8	0,7	-	52,3
2001	36,9	18,5	16,0	2,3	0,2	89,2
2002	41,3	20,0	20,3	0,8	0,2	130,5
2003	53,3	27,2	24,9	0,9	0,4	183,8
2004	134,7	68,7	55,9	8,1	1,9	318,5
2005	234,9	58,5	150,0	23,4	3,1	553,5
2006	312,5	72,4	197,6	36,0	6,5	866,0
2007	429,4	82,0	287,8	49,0	10,7	1295,4
2008	429,7	104,4	255,0	57,8	12,6	1725,1
2009	530,1	251,1	205,3	54,7	19,0	2255,2
2010	690,2	392,2	195,9	70,2	31,9	2945,4
2011	629,0	316,4	185,1	82,8	44,7	3574,4
2012	1219,1	678,0	344,7	106,9	89,5	4793,5
2013	1279,2	679,1	358,2	152,9	89,0	6072,7
2014	1266,0	684,2	323,6	171,8	86,5	7338,7
2015	1204,0	633,2	282,9	201,5	86,4	8542,8
2016	1400,6	677,7	266,2	285,9	170,8	9943,4
Leden 2017	105,0	43,2	15,3	30,3	16,2	10 048,5
<b>Celkem</b>		485,27	3190,4	1336,0	669,5	

Poznámka: Prodejní výsledky jsou pouze předběžné a mohou se změnit.

## 4.7 Zhodnocení hybridního pohonu

Hybridní pohon se skládá ze dvou nebo více energetických zdrojů. Ve většině případů je jedním poháněcím prvkem klasický spalovací motor, jehož účinnost se pohybuje mezi 30 až 40 % v optimálních podmínkách pro její dosažení, což lze v běžném provozu pouze zřídka.

Dnešní elektromotory pracují s účinností kolem 95 %, kterou lze dosáhnout v širokém rozsahu otáček a zatížení. Nevýhodou je příliš vysoká hmotnost akumulátorů, malý dojezd na jedno nabití a délka dobíjení.

Hybridní pohon umožňuje spojení těchto energetických zdrojů v ekologicky nejvýhodnějším režimu spolupráce. Výsledkem je významné snížení všech škodlivin včetně hluku. Na malé vzdálenosti a v nenáročném terénu jezdí vůz na elektřinu. V náročnějším terénu s požadovaným větším dojezdem užije spalovací motor.

Můžeme jej také považovat za jistý mezičlánek mezi automobily s klasickými spalovacími motory a elektromobily.

### Výhody:

- Vysoká účinnost elektromotoru a jeho charakteristika.
- Dobíjení akumulátoru za jízdy.
- Velký dojezd a rychlost díky spalovacímu motoru.
- V režimu provozu elektromotorem tichý provoz a nulové emise.

### Nevýhody:

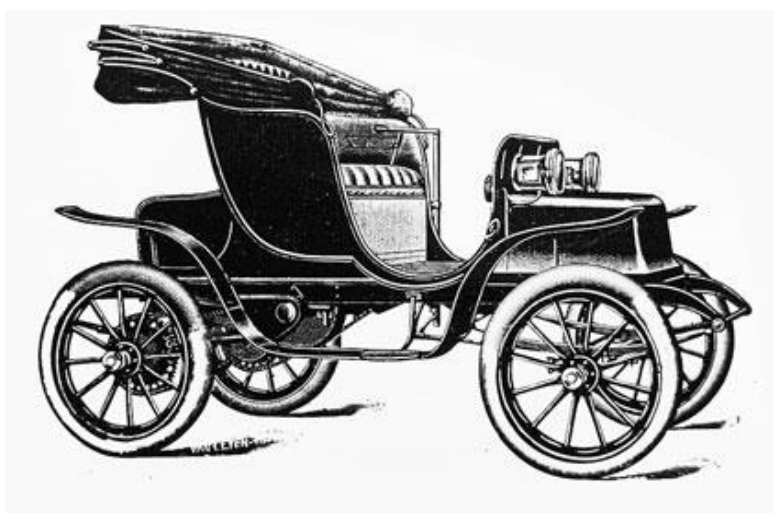
- Vyšší pořizovací náklady.
- Hmotnost vozidla.
- Limitovaná životnost akumulátorů.
- Omezení úložných prostor z důvodu umístění zásobníků energie.

## 5 ELEKTRICKÝ POHON

Elektrický pohon je jednou z možností alternativního řešení, neboť neprodukuje téměř žádné škodlivé emise, má velmi nízkou hladinu hluku, příznivou výkonovou charakteristiku. Nepříznivý je ovšem menší jízdní výkon, omezený dojezd, pořizovací cena a větší nebezpečí při havárii (Vlk, 2004).

### 5.1 Historie

Zlomové okamžiky dějin osobní automobilové dopravy byly vždy neodmyslitelně spjaty s vývojem v oblasti pohonů a jejich paliv, jedním z technologických konceptů, který se této soutěže od počátku zúčastňoval, byl elektromobil.



*Obr. 8: Elektrický kočár Roberta Andersona*

*Zdroj: [www.electriccarclub.com](http://www.electriccarclub.com)*

První a zatím poslední zlaté období osobních elektromobilů je spojeno s časovým úsekem počínajícím v posledním desetiletí 19. století a končícím v třicátých letech století 20. První elektromobily sestavené v garážích vědců a nadšenců pocházejí z doby ještě o několik desítek let starší – za nejstarší elektromobil je uváděn elektrický vozík Skota Roberta Andersona sestavený mezi lety 1832-1839. Vznik opravdové tržní nabídky tehdy kočárových elektromobilů se však např. v USA datuje až k roku 1893, kdy jich na chicagském autosalonu byla představena široká paleta (Vejbor, 2015).



Elektromobily se na americkém trhu ujímají vedení v tabulkách prodeje, v roce 1900 byly předběhnuty pouze paromobily. Oproti těm však mají delší dojezd, menší náročnost řízení a za chladných rán nevyžadují ohřívání vody v kotli 45 minut před odjezdem. V porovnání s vozy vybavenými spalovacími motory, elektromobily nabízejí čistý a vysoký cestovní standard od momentu nastartování, neboť nevyžadují náročnou a často zdraví nebezpečnou práci se startovací klikou, nekouří a nevyžadují řazení (Vejbör, 2015).



*Obr. 9: La Jamais Contente*

*První vůz, jenž překonal hranici 100 km/h*

*Zdroj: [www.theoldmotor.com](http://www.theoldmotor.com)*

Belgický elektromobil nazvaný „La Jamais Contente“ (Nikdy spokojená), se kterým konstruktér Camille Jénatzy reagoval na posměch benzínové konkurence a jako s prvním vozem na světě v roce 1899 překonal hranici 100 km/h. „Jeho doutník připomínající vozidlo se rozjelo na 105,882 km/h. Rekord držel celé tři roky, než ho v roce 1902 překonal elektromobil Torpedo Kid rychlostí 167,3 km/h (Výzkum vývoj automotiv, 2016).“

Výrobci sériových elektromobilů však museli kvůli peněžní dostupnosti činit kompromis mezi rychlostí a dojezdem. Například modelu Phaeton nabízený od roku 1902 firmou Woods and Baker s výkonem pouze 29 km/h a 22 km/h. Ovšem v době, kdy se pořádné silnice vyskytovaly jen v centrech rušných měst, se jednalo o dostatečné výkony.

„Za jeden z přelomových bodů se také považuje rok 1912, kdy Charles Kettering vynalezl elektrický startér, díky němuž zmizelo nepohodlné startování klikou (Výzkum vývoj automobilů, 2016).“

Elektromobily, jichž se na trhu USA v roce 1900 prodalo dvakrát více než automobilů a které do roku 1905 společně s paromobily dominovaly americkým cestám, podobně překotný vývoj v bateriích nezaznamenaly. Pro tyto konkurenční nevýhody byly na desetiletí upozaděny, což v USA symbolicky ohlásil rok 1924, kdy na automobilových výstavách nebyl předváděn již jediný zástupce (Vejbor, 2015).

Obecným povědomím zatřásl zejména ropné krize let 1973 a 1979 a přinutily automobilky a vědecké týmy začít se, byť jen na úrovni testovacích vozů, k práci na elektromobilech postupně vracet.



*Obr. 10: První Československý městský elektromobil – EMA*

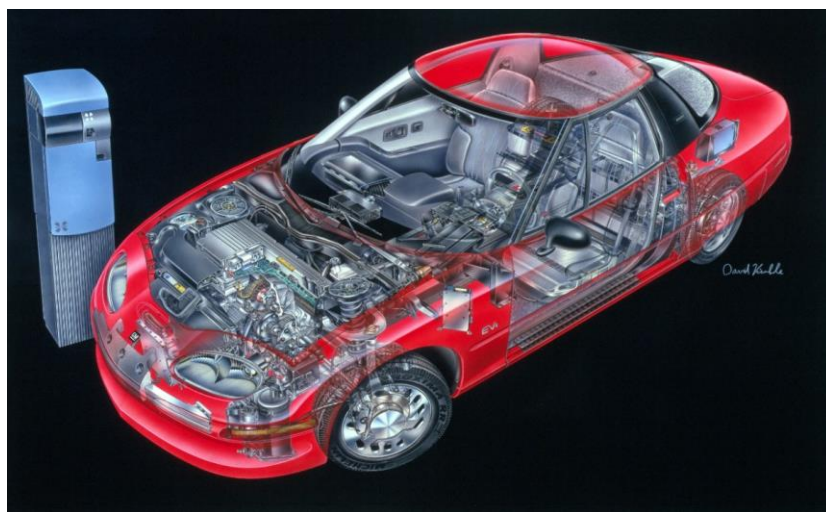
*Zdroj: [www.elektromobily.org](http://www.elektromobily.org)*

O tom, že nedostatky v zásobování ropou měly celosvětové následky, svědčí i činnost Československa, které dostalo za úkol vyvinout malé rodinné elektrické auto, později nazvané EMA (Vejbor, 2015).

Ke zlomu došlo v Kalifornii, která měla už od čtyřicátých let vzduch zamořený skoro nejvíc z celých Států. Koncern General Motors začátkem devadesátých let vypustil zprávu, že disponuje technologiemi na výrobu výkonných elektromobilů. Toho se chytili členové Rady pro ovzduší (CARB – California Air Resources Board) a rozhodli se podněcovat automobilky k větší výrobě elektrických modelů. Kalifornie v témže roce dokonce přijala zákon o vozidlech s nulovými emisemi ZEV (Zero Emission Vehicle),

který nařizoval, aby od roku 1996 všechny firmy prodávající auta v Kalifornii měly alespoň jeden bezemisní model (Výzkum vývoj automobilů, 2016).

Na kalifornských cestách se od roku 1996 začaly objevovat dnes již kultovní elektromobily GM EV1. Překvapivě i další firmy, které s alternativními pohony tehdy měly málo společného, přišly na trh právě s elektromobily. Mezi nejpočetnější patřily Toyota RAV4 EV, Ford Ranger EV, Honda EV Plus nebo Ford Th!nk City.



Obr. 11: Vnitřek elektromobilu GM EV1 1996

Zdroj: [www.insideevs.com](http://www.insideevs.com)

Svá technologická střediska však začaly mobilizovat i ostatní světové automobilky, neboť výše zmíněný zákon se začal šířit i do ostatních států unie. Například v Evropě v rozmezí let 1997-2003 vyrobila francouzská automobilka PSA dosud největší sérii osobních elektromobilů na světě – Peugeot 106 Électrique a Citroën Saxo Électrique. Desítky těchto vozidel jezdí po ČR. Celé situaci navíc začala nahrávat od srpna 2003 prudce rostoucí cena za galon benzínu, což ve společnosti navrátilo obavy z období ropných šoků (Vejbor, 2015).

*„Roku 2003 se stalo něco, co nejspíše nikdo nečekal. General Motors sdělilo, že další generace EV1 se dle jejich analýz nemůže stát ziskovou, a to i přes neustále rostoucí zájem o tento model. Na tom by nebylo nic až tak divného. Jenže zákazníci, kteří svůj EV1 milovali a chtěli od General Motors odkoupit, tvrdě narazili. Ve smlouvách byl jakýsi záchranný bod, který i přes velké protesty a snahu veřejnosti o zachování EV1 umožnil automobilům zákazníkům odebrat (Svatoš, 2016).“*

Příběh skončil v roce 2004, kdy samy automobilky většinu elektromobilů sešrotovaly. Zajímavý pohled přinesl hraný dokument - Kdo zabil elektromobil?, který pojednává právě o životním příběhu a pádu modelu GM EV1 (Výzkum vývoj automobilů, 2016).



*Obr. 12: Sešrotování modelu EV1 samotnou automobilkou General Motors*

*Zdroj: [www.fdrive.cz](http://www.fdrive.cz)*

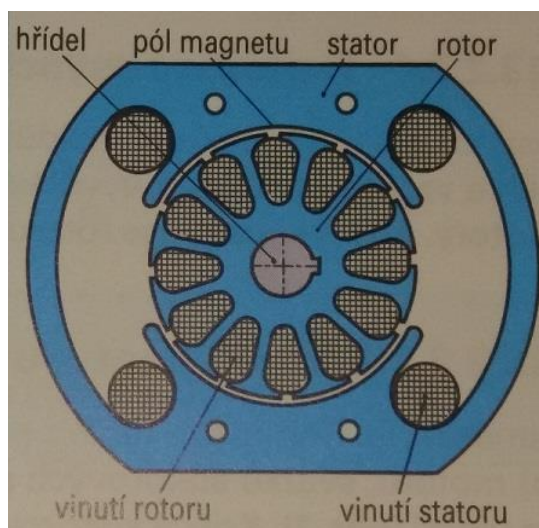
Část inženýrů a vývojářů, kteří v General Motors pracovali na vzniku a produkci EV1, přešla do automobilky Tesla, kde pokračují dodnes na další kapitole rozmachu aut na elektřinu (Výzkum vývoj automobilů, 2016).

## 5.2 Elektromotor

Elektromotor přeměňuje elektrickou energii na mechanickou práci. Funguje na principu tzv. elektromagnetické indukce – tj. že v magnetickém poli vytvořeném elektrickým proudem se souhlasné póly magnetů odpuzují a nesouhlasné přitahují.

Každý elektromotor se skládá z pevné části, která představuje elektromagnet (stator), a otáčivé části, tvořené cívkou (rotorem). Rotor je tvořen soustavou elektrických vodičů vinutých těsně vedle sebe kolem magnetického jádra. Při otáčení cívky je pomocí komutátoru zajištěno, že se při každém otočení cívky o  $180^\circ$  mění směr proudění, tím i magnetické póly cívky. To způsobí, že jsou stále proti sobě části magnetu, které se odpuzují, cívka se tak roztáčí a motor koná práci.

Výhodou elektromotoru je, že na rozdíl od spalovacích motorů poskytuje přímo točivý pohyb a neprodukuje žádné spaliny a znečištění (Vítejte na Zemi..., 2013).

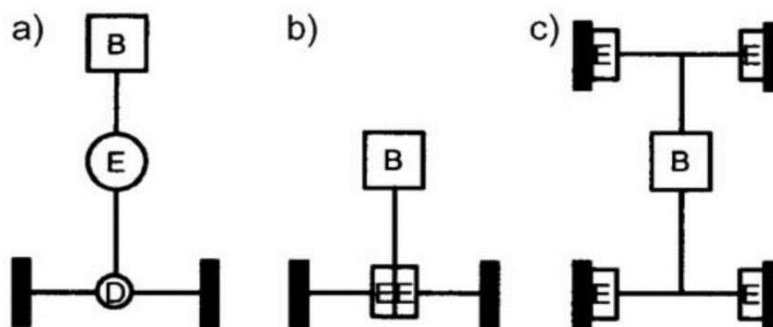


Obr. 13: Princip konstrukce elektromotoru

Zdroj: Tkotz, 2006

## 5.3 Ústrojí elektromotoru

Hnací ústrojí elektromobilu je tvořeno z motoru, převodovky, hnacích hřídelů a diferenciálu s rozvodovkou. Nejčastěji se používá přední nebo zadní pohon s centrálním elektromotorem. Alternativami jsou tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory a pohony kol elektromotory umístěnými přímo v kolech (Vlk, 2004).



Obr. 14: Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily

a) přední nebo zadní pohon, b) tandemový pohon, c) pohon v nábojích kol  
 B – baterie, E – elektromotor a usměrňovač příp. převodovka, D – diferenciál

Zdroj: Vlk, 2004

## 5.4 Typy elektromotorů

„U elektromobilů jsou zkoušeny všechny druhy elektromotorů: sériový stejnosměrný motor nebo paralelní, případně s cizím buzením, asynchronní motor s tranzistorovou regulací a synchronní motor s permanentními magnety (Vlk, 2004).“

Volba vhodného elektromotoru pro pohon je dána požadavky, které vycházejí z vlastností a funkce poháněného stroje. Hlavními parametry jsou např. výkon, točivý moment, otáčky a druh provozu. Motor s nedostatečným výkonem bude přetěžován. Naopak s nadměrným výkonem by byl zbytečně veliký, drahý a jeho účinnost bude malá (Tkotz, 2006).

### 5.4.1 Stejnosměrný elektromotor

Stejnosměrné elektromotory mají velký rozběhový moment a umožňují stupňovité řízení otáček. Mohou se užit jako generátor nebo jako motor, jelikož mají nezávisle na sobě stejnou konstrukci (Tkotz, 2006).

#### Výhody:

- Technická vyzrállost.
- Cena.
- Jednoduchost řízení.

**Nevýhody:**

- Komutátor a kartáče jsou náchylné k poruchám, nutná údržba.
- Maximální obvodová rychlost je omezena rotační frekvencí.
- Účinnost a hustota výkonu je menší než u střídavých motorů.

(Kameš, 2004)

**5.4.1.1 Se sériovým buzením**

Budící vinutí motoru se sériovým buzením je zapojeno v sérii s vinutím kotvy. Tyto typy motorů mají největší rozběhový moment, při běhu na prázdko se přetočí a otáčky jsou velmi závislé na zatížení. K rozběhu i řízení otáček se používá přeřazený stavitelný spouštěcí rezistor (Tkotz, 2006).

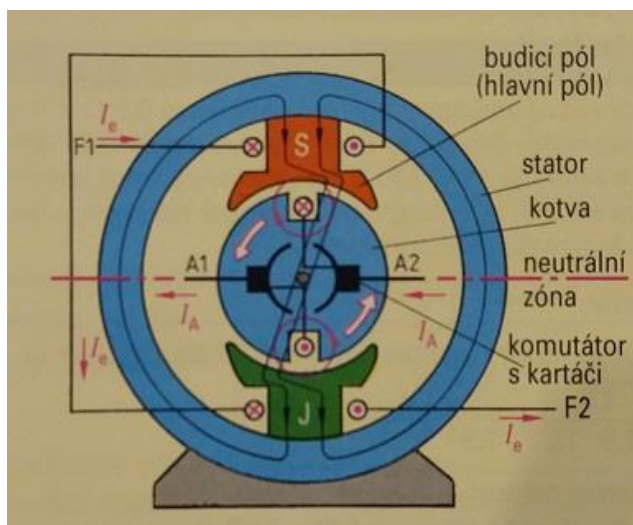
Motor má nejjednodušší regulaci. Charakteristika je velmi měkká, ale při odlehčení vzrostou otáčky natolik, že hrozí poškození elektromotoru, proto nesmí pracovat bez zatěžovacího momentu na hřídeli. Pro elektromobily se hodí zejména kvůli schopnosti rozbíhat velké setrvačné hmoty a samočinnému přizpůsobení otáček zatížení (Vlk, 2004).

**5.4.1.2 S cizím buzením**

Budící vinutí motoru s cizím buzením není propojeno s obvodem kotvy a je napájeno vnějším zdrojem stejnosměrného napětí (Tkotz, 2006).

Magnetický tok je vybuzen budícím vinutím ve statoru. Proud do vinutí rotoru je přiveden přes kartáče a komutátoru, jenž zajišťuje periodickou změnu proudu do cívky kotvy, která rotuje ve vnějším magnetickém poli. Točivý moment působí stále ve směru rotace. Vykazuje zvláště výhodné tahové charakteristiky, jednoduchou regulaci otáček a plynulý přechod z jízdy na brzdění. U elektromobilů jsou užívány v případech, kdy mohou být napájeny přímo z baterie (Kameš, 2004).

Přetíženost motorů při trvalém výkonu po dobu jedné hodiny je 20 % nad trvalým výkonem. Krátkodobě při rozjezdu je přetíženost až 100 %. Hraniční otáčky jsou omezeny asi na  $7000 \text{ min}^{-1}$ , je tedy zapotřebí vícestupňová převodovka (Vlk, 2004).



Obr. 15: Stejnsměrný motor s cizím buzením (břeh doleva)

Zdroj: Tkotz, 2006

#### 5.4.1.3 S derivačním buzením

Budící vinutí je zapojeno paralelně k vinutí kotvy. Otáčky se regulují spouštěcím odporem a odporem nastavování budícího pole. Při břehu na prázdkno se nepřetočí, při rostoucím zatížení mají malý pokles otáček. V provozu je třeba zajistit, aby nedošlo k odpojení buzení, hrozí roztočení kotvy do příliš vysokých otáček (Tkotz, 2006).

Lze jej snadno a plynule regulovat, ale v menším rozsahu než motory s cizím buzením, jednoduše se brzdí (Vlk, 2004).

#### 5.4.1.4 Se smíšeným buzením

Skládá se ze dvou budících vinutí. Jedno je zapojené v sérii magneticky souhlasně s derivačním vinutím, při zatížení způsobuje snížení otáček a zvětšení momentu, a druhé derivační paralelně ke kotvě omezuje otáčky naprádkno. Tvoří přechod mezi sériovým a derivačním elektromotorem, podle toho, které buzení převládá (Vlk, 2004).

*„Bez sériového budícího vinutí by docházelo k nárůstu otáček při zatížení, protože pole kotvy oslabuje hlavní pole (Tkotz, 2006).“*



### 5.4.2 Střídavý elektromotor

Střídavé motory vytlačují u elektrovozidel stále více stejnosměrné motory. Výhoda střídavých motorů oproti stejnosměrným je, že obíhajícímu rotoru většinou nemusí být přiveden žádný proud, neboť je vybuzován rotujícím magnetickým polem. Vlivem působení indukovaného proudu působí síly magnetického pole na kotvu, která se otáčí. Podle smyslu otáčení rotoru s točivým polem se rozdělují na asynchronní a synchronní motory (Kameš, 2004).

#### Výhody:

- Technicky dokonalé.
- Kompaktní a robustní stavby.
- Malé náklady na údržbu.
- Vysoké otáčky.
- Vysoká účinnost.
- Stabilní běh motoru při vypadnutí jedné nebo více fází.

#### Nevýhody:

- Nerovnoměrný točivý moment.
- Mohou nastat zvýšené emise hluku.

(Kameš, 2004)

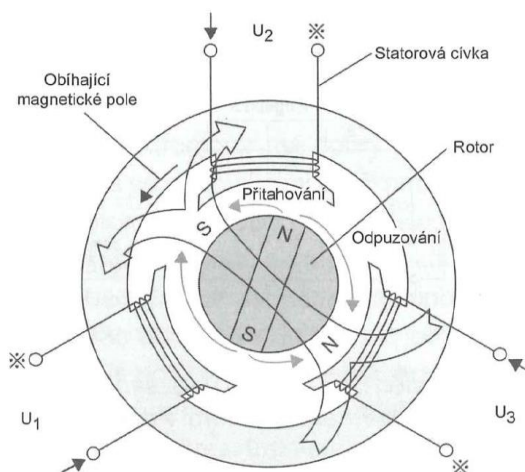
#### 5.4.2.1 *Asynchronní*

Podstatná výhoda třífázového asynchronního motoru je v tom, že odpadá vinutí kotvy a kolektoru, díky čemuž dosáhne otáček až  $20\,000\text{ min}^{-1}$ . Velkou výhodou je malý rozměr a nižší váha, lze počítat s výkonovou hmotností  $1\text{ kg/kW}$ . Motor má podstatně jednodušší konstrukci, je robustní, bezúdržbový a silně přetížitelný.

Nevýhoda spočívá v nákladech na elektronickou regulaci, jelikož stejnosměrný proud akumulátoru je nutno přeměnit na střídavý. Obvykle se toho dosahuje cyklickým zapínáním tyristoru. Pohon silového pole vede k velmi dobrému využití instalovaného výkonu v celé hnací charakteristice vozidla (Vlk, 2004).

### 5.4.2.2 Synchronní s permanentním buzením

Tato varianta umožňuje velmi malý zastavěný objem motoru. Magnetické pole vybuze-  
né permanentními magnety je bezdrátové, což vede k vysoké účinnosti. Zeslabením  
pole není pohon motoru možný, musí být použito vícenásobného regulátoru výkonu  
akumulátoru nebo vícestupňové převodovky (Vlk, 2004).

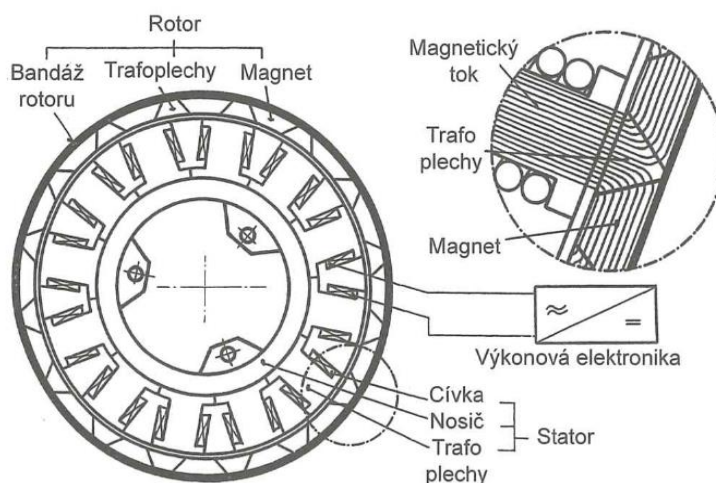


Obr. 16: Synchronní motor s permanentním buzením

Zdroj: Kameš, 2004

### 5.4.2.3 Magnetický elektromotor

Patří do skupiny synchronních elektromotorů s permanentním buzením. Rotor je složen z vylisovaných elektroplechů, v nichž se nachází oddělené tangenciálně magnetizované magnety se střídavou polaritou. Magnetické siločáry se ohýbají a kolmo proudí do statoru. Magnetická indukce je značně zvýšená a motor nemá žádné rotující elektrické součásti. Uvnitř je stator složen z lisovaných elektroplechů a tvoří vysokopólové nosiče cívek. Proti konvenčnímu provedení elektromotoru je výkon zvětšen až desetinásobně, proto je statorové vinutí chlazeno kapalinou. Také je až čtyřikrát lehčí a menší (Vlk, 2004).



Obr. 17: Magnetický elektromotor

Zdroj: Kameš. 2004

### 5.4.2.4 Transversální elektromotor

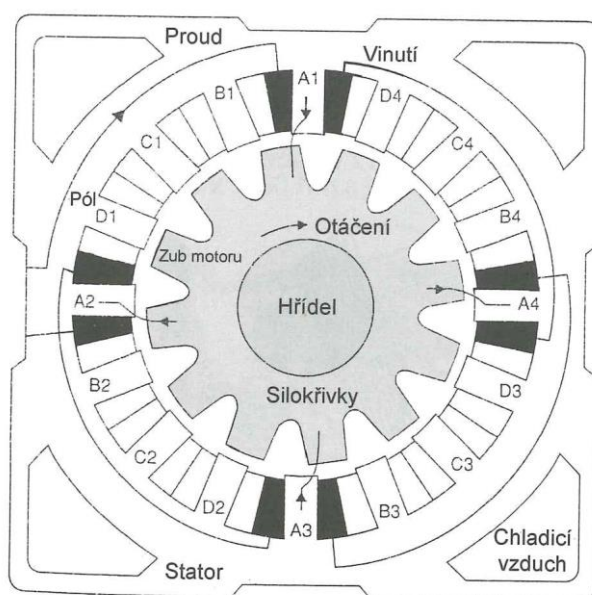
Jedná se o zvláštní tvar asynchronního střídavého elektromotoru, u něhož je proud přiváděn v obvodovém směru do rotoru, kde magnetický tok statoru není kolmý k ose rotoru, ale paralelní. Výhodou je dosažení velkého rozsahu konstantního maximálního výkonu, což je zapříčiněno změnou stejnosměrného proudu.

Nevýhodou těchto motorů je drahé řízení a tím i vyšší celková cena (Kameš, 2004).

#### 5.4.2.5 Řízený reluktanční motor

Technika motorů je založena na reluktančním krokovém motoru. Rotor z měkkého železa má pólové nástavce ve tvaru ozubeného kola, není zde budící vinutí. Nevýhodou je závislost točivého momentu na poloze rotoru, což se vyrovnává odpovídajícím řízením. Rozběh reluktančního motoru je asynchronní a poté běží synchronně, otáčky a točivý moment lze ovlivňovat výkonovou elektronikou.

Reluktance poukazuje na magnetický odpor, který rotor v magnetickém poli představuje, tvoří velmi malý točivý moment a také velmi vysoké možnosti zrychlení (Kameš, 2004).



Obr. 18: Řízený reluktanční motor

Zdroj: Kameš, 2004

## 5.5 Akumulátory a energetické zásobníky

Galvanické elementy mohou chemickou energii měnit přímo na elektrickou. Baterie a akumulátory pracují na principu dvou elektrod z různých materiálů ponořených do kapalné nebo pevné látky (elektrolytu), obsahující pohyblivé elektricky nabitě částky, které umožňují uvnitř článku vodivé spojení. Elektrolyt tvoří většinou zředěná kyselina, zásada nebo rozpuštěná sůl (Kameš, 2004).

Z hlediska principu vratnosti elektrochemických dějů rozlišujeme dva druhy článků – primární a sekundární. *Primární články* (baterie) lze jen vybit. Materiál záporné elektrody se při vybíjení spotřebovává při chemické reakci s elektrolytem. U *sekundárních článků* (akumulátorů) je elektrochemický proces vybíjení vratný a články lze po vybití opět nabít (Tkotz, 2006). Počet cyklů vybití a nabití je většinou omezen. Pro vozidla jsou užívány články výhradně sekundární.

Velikost napětí mezi elektrodami galvanického článku není závislá na velikosti nebo tvaru elektrod, ale na jejich materiálu. Hodnoty napětí se nacházejí mezi 1 a 4 V. Chceme-li dosáhnout vyššího napětí, spojíme více galvanických článků do řady (Kameš, 2004).

U akumulátorů jsou především důležité tyto parametry: měrná energie ( $\text{Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), měrný výkon ( $\text{W} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), nabíjecí doba (h), životnost, cena, údržba a recyklace (Vlk, 2004).

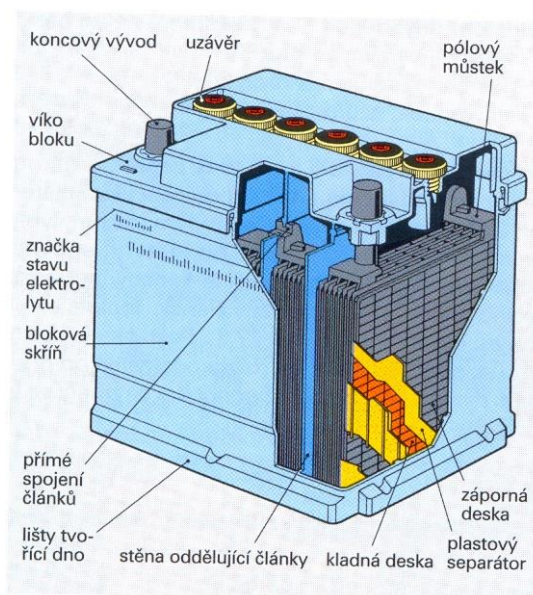
U dnešních elektromobilů se akumulátory nejčastěji ukládají pod podlahu vozu, kde je umožněno umístění elektromotorů na přední i zadní nápravu.

### 5.5.1 Olověný akumulátor

Činnou hmotu na kladné elektrodě tvoří oxid olovičitý a porézní olovo na elektrodě záporné. Elektrolytem v olověných akumulátorech je vodou zředěná kyselina sírová. Napětí článku je 2 V a energetická hustota přibližně  $25 \text{ Wh} \cdot \text{kg}^{-1}$ . Při vybíjení klesá koncentrace elektrolytu a naopak při nabíjení jeho koncentrace roste. Reálný dojezd je 50 km na jedno nabití. Životnost akumulátorů je 4 roky nebo 700 cyklů nabíjení a vybíjení. Nevýhodou je také pokles kapacity při nízkých teplotách a vzrůstu vybíjecích proudů (Vlk, 2004).

Omezení olověného akumulátoru je v tom, že když je vybit (i částečně) a delší dobu v tomto stavu setrvává, tak na jeho elektrodách dochází k prakticky nevratným změnám. Je tedy nutné stále udržovat akumulátor v dobitém stavu (Tkotz, 2006).

Olověné akumulátory v kombinaci s nízkou cenou a schopností dát velký proud jsou určeny jako ideální varianta pro klasické automobily. Z ekologického pohledu jsou nejhorší variantou spolu s NiCd akumulátory, jelikož jsou velmi toxické. Tento typ akumulátorů byl užíván dříve, dnes se nahrazují výkonnějšími a modernějšími typy, zde jsou uvedeny k porovnání s ostatními akumulátory.



Obr. 19: Klasické složení olověného akumulátoru

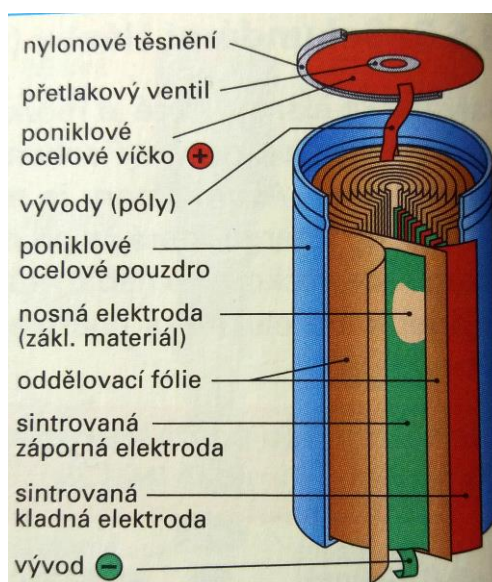
Zdroj: [www.publi.cz](http://www.publi.cz)

### 5.5.2 Nikl – kadmium

Elektrody jsou složeny z vláken obsahujících elektricky vodivých niklem vrstvených materiálů. Aktivní hmoty nikloxid a kadmium umožňují silné vybití baterie. Elektrolyt tvoří vodní roztok hydroxidu draselného. Baterie může být velmi rychle nabíjena (Kameš, 2004).

Jejich životnost je 10 let nebo 2000 cyklů, energetická hustota 40–60 Wh. kg<sup>-1</sup>. Tyto akumulátory nemají tak výraznou závislost kapacity na teplotě a vybíjecím proudu, jako akumulátory olověné (Vlk, 2004).

Výhodou je, že může být ve stavu úplného vybití. Naopak jeho nevýhody spočívají v jeho objemu díky menšímu napětí článku (1,2 V) a paměťový efekt, který vzniká opakovaným vybíjením na stejně malou hloubku vybití. Lze odstranit úplným vybitím a nabitím (Tkotz, 2006).



Obr. 20: Plynotěsný nikel-kadmium akumulátor

Zdroj: Tkotz, 2006

### 5.5.3 Nikl – metal – hydrid

Akumulátor má mnoho společných znaků s nikel-kadmiovými akumulátory. Dnes patří mezi nejužívanější. Anoda je na bázi sloučenin niklu, katoda ze slitiny pohlcující vodík. Elektrolyt je zředěný roztok hydroxidu (Kameš, 2004).

Tyto články nemají paměťový efekt, jejich kapacita je o 40 % větší než článků NiCd a jsou méně nebezpečné pro životní prostředí. Počet nabíjecích cyklů je však menší asi 300 – 1000. Napětí článku je 1,2 V a energetická hustota 30-80 Wh. kg<sup>-1</sup> (Tkotz, 2006). Životnost je 5 let a recyklace na konci životnosti je nákladná (Vlk, 2004). Nevýhodou je i samovybití u některých typů až od 20 % za měsíc.

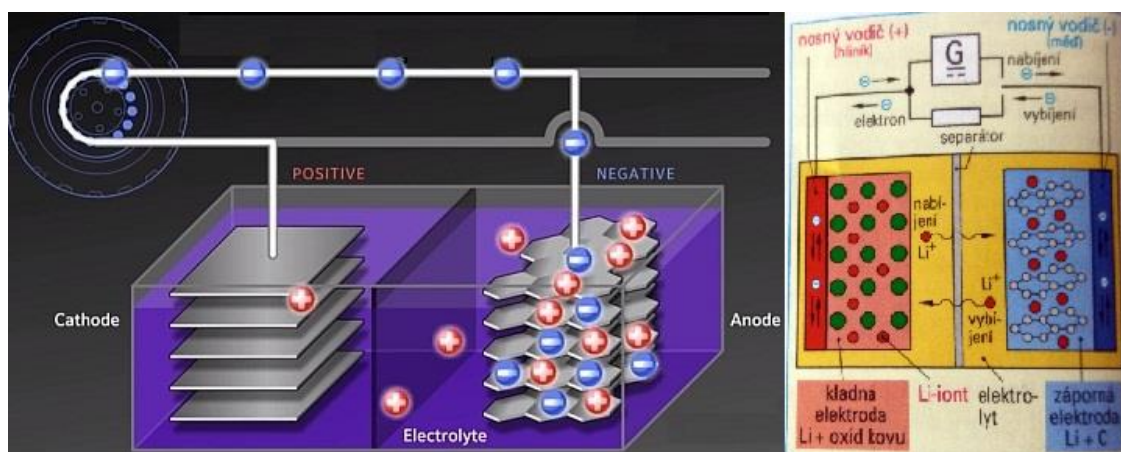
### 5.5.4 Lithium – iont

Lithium-iontové akumulátory (Li-Ion) mají zápornou uhlíkovou elektrodu s lithiem a kladnou elektrodu z kovového oxidu s podílem lithia. Pevný organický alkalický elektrolyt obsahuje soli lithia (Tkotz, 2006).

Energetická a výkonová hustota je vysoká, měrná energie dosahuje 120 až 130 Wh. kg<sup>-1</sup> a životnost až 1000 cyklů. Paměťový efekt se zde nevyskytuje a napětí článků má 3,6 V. Kapacita silně závisí na teplotě, klesá rychle mimo optimální rozsah mezi 5 °C a 30 °C (Kameš, 2004).

Hlavní stinnou stránkou je jejich stárnutí, což je výrazné snižování kapacity. Při skladování baterie při teplotě 20 °C, se bude kapacita baterií snižovat o 20 % za rok. Při teplotě 4 °C je to za rok kapacita jen o 4 %. Naproti tomu při 40 °C by byla trvalá roční ztráta kapacity dokonce 35-40 %. Také zde hrozí riziko exploze (Elektromobily informace, 2010).

Výhodou je hlavně jejich hmotnost, velikost a s postupným vývojem se i jejich cena dostává na nebo i pod úroveň NiMH. Li-Ion akumulátorů existuje obrovské množství a obvykle co výrobce to jiný typ použité chemie, jsou tvarovatelné.



Obr. 21: Princip lithium-iontového akumulátoru

Zdroj: [www.hybrid.cz](http://www.hybrid.cz), Tkotz, 2006



### 5.5.5 Sodík – síra

Elektrody sodík i síra jsou při chemické reakci tekuté. Elektrolyt je tvořen oxidem hliní-tým. Jelikož samotná síra není vodivá, používá se k vedení proudu grafitová plst, ta je spojena s kovovou kostrou sloužící jako kladný pól. Tekutiny jsou od sebe odděleny pevným elektrolytem.

Pracovní teplota akumulátoru, který tvoří velké množství článků, je 380 °C. Akumulátor je absolutně bezúdržbový a plynotěsný. Energetická účinnost je 88 %. Vozidla s tímto akumulátorem mají dojezd přes 100 km, životnost je 1000 cyklů. Nevýhodou je vysoká cena a nutnost tepelné izolace, naopak výhodou je vysoká měrná energie a měrný výkon (Vlk, 2004).

### 5.5.6 Lithium – síra

Lithium-sírový akumulátor funguje tak, že lithiové ionty se přenášejí mezi elektrodami lithium-uhlík a síra-uhlík. Každý atom síry je pro urychlení převodu elektronů obklopen uhlíkovými nanočásticemi (Houser, 2012).

Mají téměř dvojnásobnou kapacitu - 500 kWh na jeden kilogram hmotnosti oproti 265 kWh u Li-Ion. Navíc mohou být až o polovinu levnější. V případě elektromobilů se uplatní v blízké budoucnosti.

### 5.5.7 Lithium – polymer

Anoda je z lithiové a katoda z kovové fólie se zakotveným organosulfidovým polymerem. Napětí článku je 1,8 až 3 V, v závislosti na použitém materiálu. Energetická hustota je 150 Wh. kg<sup>-1</sup> při výkonové hustotě 200 W. kg<sup>-1</sup>. Při rychlém nabíjení může být dosaženo nabíjecí účinnosti až 90 % (Vlk, 2004).

## 5.6 Nabíjení elektromobilů

Jeden z velice důležitých parametrů elektromobilu je i délka nabíjení akumulátoru, především z hlediska denního využití. Čas dobíjení se pohybuje od 1 do 10 hodin, dle technologie použité automobilkou a typu nabíjecího zařízení.

Existují dva hlavní druhy nabíjecích stanic. Nabíjecí stanice *do 22 kW/32 A* na střídavý proud (AC), což vlastně nabíječky ani nejsou, jde spíše o konektor, který posílá střídavý proud do nabíječky v elektromobilu. Nabíječka v autě potom mění střídavý proud na stejnosměrný a posílá ho do akumulátoru. Jedná se o tzv. palubní nabíječky.







Nabíjecí stanice *nad 22 kW/32 A* na stejnosměrný proud (DC). Stejnosměrný proud z těchto nabíječek obchází palubní nabíječky v autě a jde rovnou do baterie. Většinou se používají s výkonem 44 až 50 kW, ale dají se koupit i s výkonem 20 kW.

Rychlonabíjecí stanice CHAdeMO 44 kW-55 kW - stejnosměrný proud (DC), jsou nejvýkonnější nabíjecí stanice, které svět mimo Tesly Motors dokázal vyrobit, proto si je lidé často pletou se super nabíječkami "Superchargers". Ty mají dvě zástrčky pro dobíjení, jedna z nich je právě na CHAdeMO. Dobití z nuly na 80 % trvá jen okolo 20 minut.

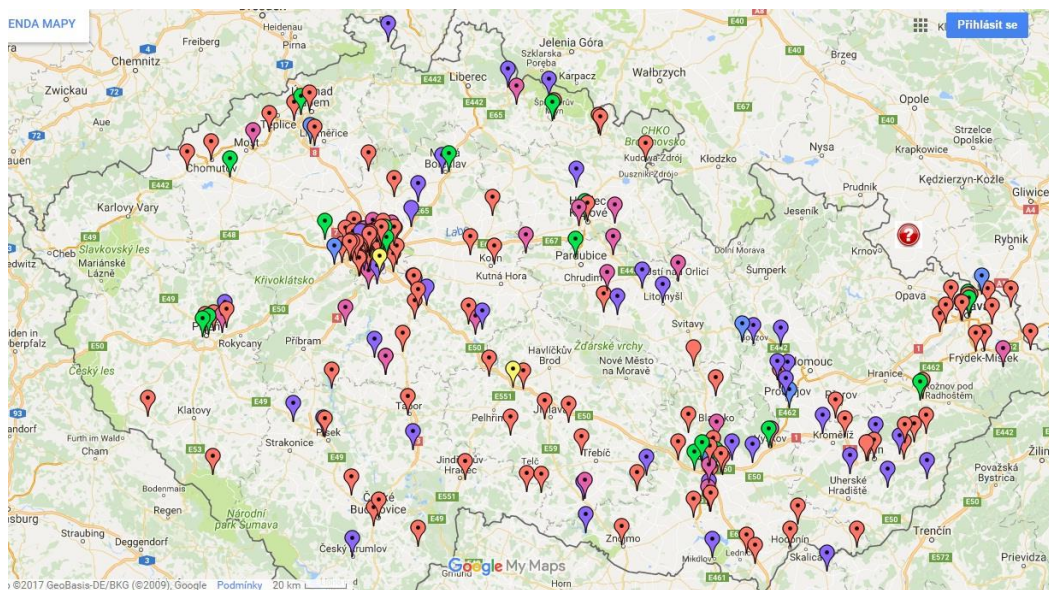
Supernabíječka Tesla Supercharger – stejnosměrný proud (DC), je nejvýkonnější nabíječka na světě. Výkon má momentálně do 135 kW. Výkon plánují ještě zvýšit. Nabíjení na Supernabíječkách je, a vždy bude, zadarmo - je zakalkulováno v ceně auta (Burkovič, 2014).

Nabíjení probíhá jednoduše připojením vozidla přes kabel. Každý elektromobil lze nabít i běžnou domácí zásuvkou. Z ekonomických důvodů je vhodné toto nabíjení provádět s využitím výhodných tarifů poskytovatelů elektrické energie.

Již existuje i bezdrátové dobíjení pomocí indukce. Stačí, aby auto zastavilo nad vyznačenou plochou, a baterie se začnou dobíjet díky elektromagnetickému poli, které vznikne mezi dvěma cívkami. Dobíjení má 90 % efektivity standardního nabíjení, čas je proto oproti řešení s kabely prodloužen jen minimálně.

	Type 1 / USA	Type 2 / Europe	GB / China
AC	 SAE J1772 / IEC 62196-2	 IEC 62196-2	 GB part 2
DC	 IEC 62196-3	 IEC 62196-3	 GB part 3 / IEC 62196-3
Combined AC/DC Charging System	 SAE J1772 / IEC 62196-3	 IEC 62196-3	

Obr. 22: Přehled dobijecích konektorů pro elektromobily dle stávajících norem  
Zdroj: [www.hybrid.cz](http://www.hybrid.cz)



Obr. 23: Mapa dobijecích stanic v ČR  
Zdroj: [www.asep.cz](http://www.asep.cz)

*Legenda:*

**MODRÁ:** klasická zásuvka 16A 230VAC 2-3kW 20Km/h

**ČERVENÁ:** třífázová 32A 400VAC 15-20kW 7 pinů Mennekes / 5 pinů pětikolík 95km/h

**ZELENÁ:** Rychlonabíjecí DC 40-50kW CHAdeMO nebo Combo nebo obojí 220km/h

**ŽLUTÁ:** Tesla Supercharger 135kW zdarma 650km/h 160km/15minut

## **5.7 Budoucnost vozidel na elektrický pohon**

Technika elektrického pohonu nevyžaduje žádný speciální vývoj v pohonu samotném, ale především ve vlastnostech akumulátorů, kde velký vliv má cena, bezpečnost, hustota energie, rychlost nabíjení i vybíjení a životní cykly. Jedná se o rozhodující vlastnosti, které zásadně ovlivňují rozšíření a využívání elektrických pohonů.

V současnosti mají elektromobily na trhu zanedbatelný podíl, výjimku představuje Norsko s téměř 25 % elektromobilů nebo Nizozemsko se skoro desetinovým podílem. V příštích letech se dá ale očekávat změna i v dalších zemích. Tesla, Nissan a Chevrolet přijdou na trh s relativně levnými elektromobily (v ceně kolem tři čtvrtě milionu korun) s dlouhým dojezdem. A do rozvoje elektromobility další automobilky investují miliardy korun (Michl, 2017).

## **5.8 Zhodnocení elektrického pohonu**

Jak již bylo zmíněno u hybridního pohonu, dnešní elektromotory pracují s účinností kolem 95 %, kterou lze dosáhnout v širokém rozsahu otáček a zatížení. Nevýhodou je příliš vysoká hmotnost akumulátorů, malý dojezd na jedno nabití a délka dobíjení.

Elektromotor poskytuje vysoký krouticí moment prakticky od nulových otáček. Jízda je proto velmi plynulá. Bezkomutátorové motory jsou prakticky bezporuchové, bezúdržbové a mají životnost překračující ostatní části vozidla. Pokud vozidlo stojí, nespotřebovává žádnou energii.

### **Výhody:**

- Vysoká účinnost elektromotoru a jeho charakteristika.
- Nízká hlučnost
- Nulové emise.





### **Nevýhody:**

- Vyšší pořizovací náklady.
- Hmotnost vozidla.
- Limitovaná životnost akumulátorů.
- Nebezpečí exploze při narušení akumulátoru.

## 6 TECHNICKÉ PARAMETRY VYBRANÝCH VOZIDEL





### 6.1 Hybridní pohon

Tab. 2: Technické parametry vybraných vozidel - Hybridní vozidla 1/2

Typ elektromobilu	Technické parametry	Cena [Kč]	Spalovací motor	Objem motoru [l (cm <sup>3</sup> )]	Výkon spalovacího motoru [kW (k)/min <sup>-1</sup> ]	Maximální točivý moment [Nm/min <sup>-1</sup> ]	Elektromotor	Maximální výkon [kW (k)]	Maximální točivý moment [Nm]	Maximální výkon systému [kW (k)]	Převodovka	Emisní norma	Typ akumulátoru	Kapacita [kWh]	Kombinovaná spotřeba		Maximální rychlost [km/h]	Zrychlení 0-100 km/h [s]	Emise kombinace [g/km]	Obrázek
															[l/100 km]	[kWh/100 km]				
<b>Mitsubishi Outlander PHEV</b> Zdroj: <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> , <a href="http://www.hybrid.cz">www.hybrid.cz</a> , <a href="http://www.autorevue.cz">www.autorevue.cz</a>		1 250 000	4 válcový zážehový	2 (1998)	89 (121)/ 4500	190/ 4500	2x elektromotor	60 (82)	137 + 190	149 (203)	CVT - variátor	Euro 6	lithium-iontový	12	1,9	15	170	11	44	
<b>VW Golf GTE</b> Zdroj: <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> , <a href="http://www.automobilrevue.cz">www.automobilrevue.cz</a>		1 009 900	4 válcový zážehový	1,4 (1395)	110 (150)/ 5000	250 (340)/ 1500 - 3500	Elektromotor	75 (102)	270	150 (204)	DSG - 6 stupňů	Euro 6	lithium-iontový	8,7	1,5	7,2	222	7,6	35	
<b>Volvo XC90 T8</b> Zdroj: <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> , <a href="http://www.hybrid.cz">www.hybrid.cz</a> , <a href="http://www.automobilrevue.cz">www.automobilrevue.cz</a> , <a href="http://www.motormix.cz">www.motormix.cz</a>		2 089 000	4 válcový zážehový	2 (1969)	235 (320)/ 5700	400/ 2200 - 5400	Elektromotor	64 (87)	240	299 (407)	Aisin AW TG-81 SC - 8 stupňů	Euro 6	lithium-iontový	9,2	2,1	12,9	230	5,6	49	
<b>VW Passat GTE</b> Zdroj: <a href="http://www.volkswagen.cz">www.volkswagen.cz</a> , <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a>		1 149 900	4 válcový zážehový	1,4 (1395)	115 (156)/ 5000 - 6000	250/1 500 - 3 500	Elektromotor	85 (116)	330	160 (218)	DSG - 6 stupňů	Euro 6	lithium-iontový	8,7	1,7 - 1,6	12,8 - 12,2	225	7,4	39 - 37	





## TECHNICKÉ PARAMETRY VYBRANÝCH VOZIDEL

Tab. 3: Technické parametry vybraných vozidel - Hybridní vozidla 2/2

Typ elektromobilu	Technické parametry	Cena [Kč]	Spalovací motor	Objem motoru [l (cm <sup>3</sup> )]	Výkon spalovacího motoru [kW (k)/min <sup>-1</sup> ]	Maximální točivý moment [Nm/min <sup>-1</sup> ]	Elektromotor	Maximální výkon [kW (k)]	Maximální točivý moment [Nm]	Maximální výkon systému [kW (k)]	Převodovka	Emisní norma	Typ akumulátoru	Kapacita [kWh]	Kombinovaná spotřeba		Maximální rychlost [km/h]	Zrychlení 0-100 km/h [s]	Emise kombinace [g/km]	Obrázek
															[l/100 km]	[kWh/100 km]				
<b>Mercedes-Benz C 350e</b> Zdroj: <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> , <a href="http://www.autorevue.cz">www.autorevue.cz</a> , <a href="http://www.automania.cz">www.automania.cz</a>		1 289 960	4 válcový zážehový	2 (1991)	155 (211)/5500	350/1200 - 4000	Elektromotor	60 (82)	340	205 (279)	7G-Tronic Plus - 7 stupňů	Euro 6	lithium-iontový	6,2	2,1	13,2	250	5,9	48	
<b>Audi A3 e-tron</b> Zdroj: <a href="http://www.audi.cz">www.audi.cz</a> , <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> , <a href="http://autobild.cas.sk">autobild.cas.sk</a>		989 900	4 válcový zážehový	1,4 (1395)	110 (150)/5000 - 6000	250/1 500 - 3 500	Elektromotor	75 (102)	330	150 (204)	S tronic - 6 stupňů	Euro 6	lithium-iontový	8,8	1,6	11,4	222	7,6	36	
<b>BMW X5 40e</b> Zdroj: <a href="http://www.bmw.cz">www.bmw.cz</a> , <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> , <a href="http://www.autoweb.cz">www.autoweb.cz</a>		1 457 300	4 válcový zážehový	2 (1997)	180 (245)/5000 - 6500	350/1 250 - 4 800	Elektromotor	83 (113)	250	230 (313)	Steptronic - 8 stupňů	Euro 6	lithium-iontový	9	3,4 - 3,3	15,4 - 15,3	210	6,8	78 - 77	
<b>BMW 330e</b> Zdroj: <a href="http://www.bmw.cz">www.bmw.cz</a> , <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> , <a href="http://jdrive.cz">jdrive.cz</a>		1 157 650	4 válcový zážehový	2 (1998)	135 (184)/5000 - 6500	290/1 350 - 4 250	Elektromotor	65 (88)	250	185 (252)	Steptronic - 8 stupňů	Euro 6	lithium-iontový	7,6	1,9 - 2,1	11,9 - 11,0	225	6,1	44 - 49	

## 6.2 Elektrický pohon





Tab. 4: Technické parametry vybraných vozidel - Elektromobily 1/2

Typ elektromobitu	Technické parametry	Cena [Kč]	Typ elektromotoru	Maximální výkon [kW (k)/min <sup>-1</sup> ]	Maximální točivý moment [Nm/min <sup>-1</sup> ]	Typ baterie	Napětí [V]	Kapacita [kWh]	Rychlonabíječka		Palubní nabíječka		Spotřeba elektrické energie [Wh/km]	Dojezd [km]	Maximální rychlost [km/h]	Zrychlení 0-100 km/h [s]	Obrázek
									Výkon	Doba nabíjení	Výkon	Doba nabíjení					
<b>Nissan Leaf</b> Zdroj: <a href="http://www.nissan.cz">www.nissan.cz</a>		730 000	synchronní, napájený střídavým proudem	80 (109)/3 008 - 10 000	254/0 - 3 008	laminovaná lithium-iontová, 48 modulů	360	24	50kW	30 minut na 80 %	3,6kW	8 hodin	150	199	144	11,5	
<b>Renault Zoe</b> Zdroj: <a href="http://www.automobilrevue.cz">www.automobilrevue.cz</a>		526 716	synchronní, napájený střídavým proudem	65 (88)/3 000 - 11 000	220/250 - 2 500	lithium-iontová, 12 modulů, 192 článků	400	22	22kW	30 minut na 80 %	3kW	9 hodin	146	210	135	13,5	
<b>Tesla Model S 85</b> Zdroj: <a href="http://www.automobilrevue.cz">www.automobilrevue.cz</a> , <a href="http://www.hybrid.cz">www.hybrid.cz</a>		1 797 000	třífázový asynchronní motor	310 (422)/5000 - 8600	600/ 1 - 5300	lithium-iontová, 7140 článků	400	85	150kW	20 minut na 80 %	380V/ 32A	4,5 hodiny	250	502	225	5,6	
<b>VW e-Golf</b> Zdroj: <a href="http://www.autorevue.cz">www.autorevue.cz</a> , <a href="http://www.hybrid.cz">www.hybrid.cz</a>		930 900	asynchronní elektromotor	100 (136)/3000 - 12000	290/ 1 - 3000	lithium-iontová, 48 modulů, 192 článků	360	35,8	40kW	do 1 hodiny	7,2kW	do 6 hodin	127	300	150	9,6	



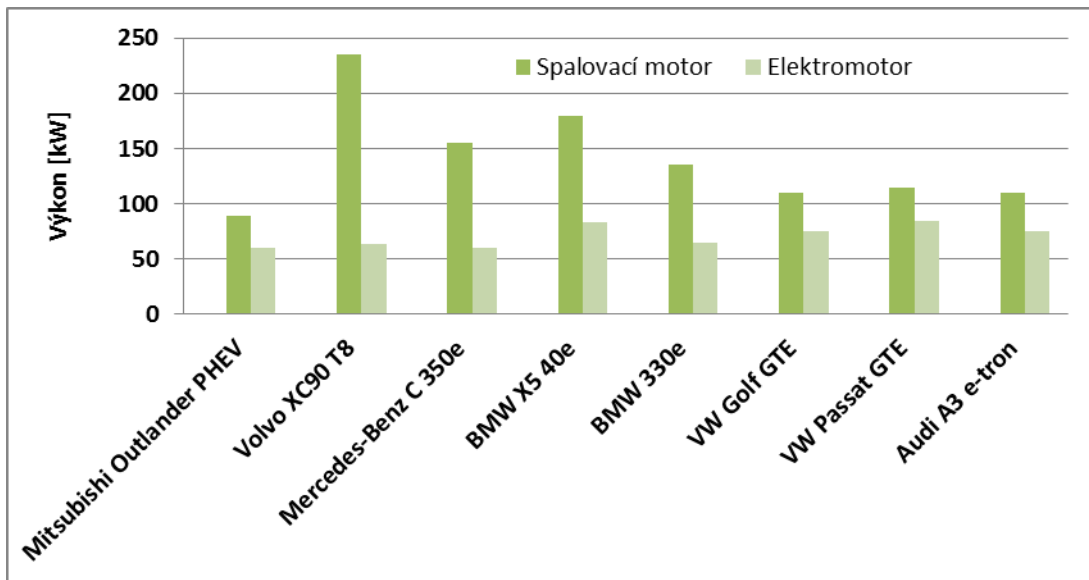
## TECHNICKÉ PARAMETRY VYBRANÝCH VOZIDEL

Tab. 5: Technické parametry vybraných vozidel - Elektromobily 2/2

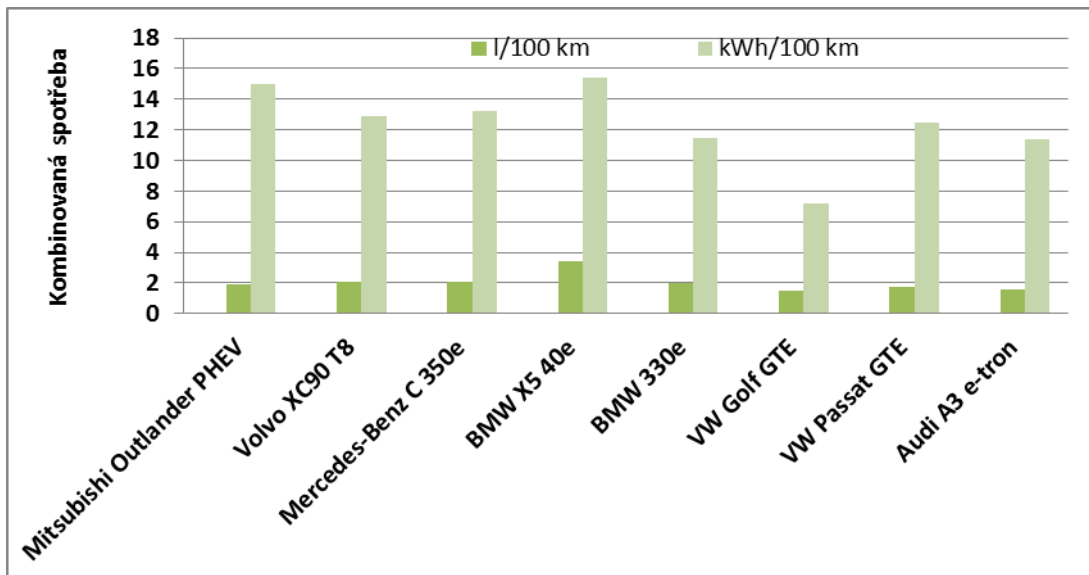
Typ elektromobilu	Technické parametry	Cena [Kč]	Typ elektromotoru	Maximální výkon [kW (k)/min <sup>-1</sup> ]	Maximální točivý moment [Nm/min <sup>-1</sup> ]	Typ baterie	Napětí [V]	Kapacita [kWh]	Rychlonabíječka		Palubní nabíječka		Spotřeba elektrické energie [Wh/km]	Dojezd [km]	Maximální rychlost [km/h]	Zrychlení 0-100 km/h [s]	Obrázek
									Výkon	Doba nabíjení	Výkon	Doba nabíjení					
<b>BMW i3</b> Zdroj: <a href="http://www.bmw.cz">www.bmw.cz</a>		936 000	synchronní elektromotor	125 (170)	250	lithium-iontová	-	18,8	125A	30 minut na 80 %	16A	5-8 hodin na 80 %	129	190	160	7,2	
<b>Kia Soul EV</b> Zdroj: <a href="http://www.kia.com">www.kia.com</a>		849 980	synchronní AC motor	81,4 (110)/2730 - 8 000	285/0 - 2 730	lithium-iontová polymerová	-	27	50kW	33 minut na 80 %	6,6kW	5 hodin	147	200	145	11,2	
<b>Mercedes-Benz B 250e</b> Zdroj: <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a> , <a href="http://www.auto-mania.cz">www.auto-mania.cz</a>		1 020 000	asynchronní elektromotor	132 (180)/9900 - 12500	340/ 1 - 9900	lithium-iontová	-	28	400V/ 16A	3 hodiny	230V	8 hodin	166	200	160	7,9	
<b>Peugeot iOn</b> Zdroj: <a href="http://www.peugeot.cz">www.peugeot.cz</a>		717 288	synchronní s permanentním magnetem	47 (64)/3 500 - 8 000	180/2 000	lithium-iontová, 88 článků	3,75	15,2	400V/ 125A	30 minut na 80 %	230V/ 16A	6 hodin	135	150	130	15,9	

## 6.3 Analýza získaných technických parametrů

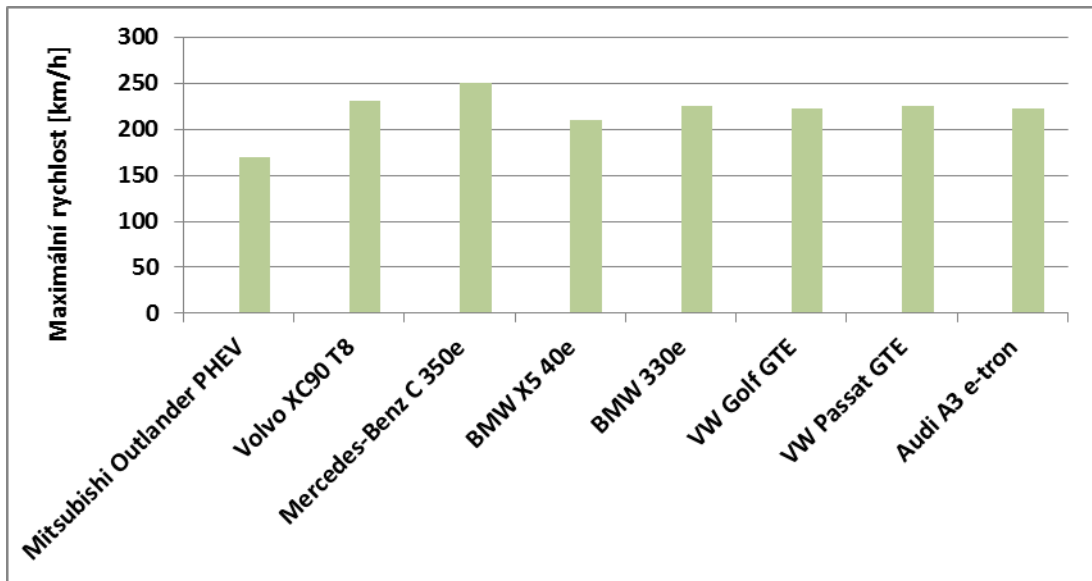
### 6.3.1 Grafické porovnání parametrů vybraných hybridních vozidel



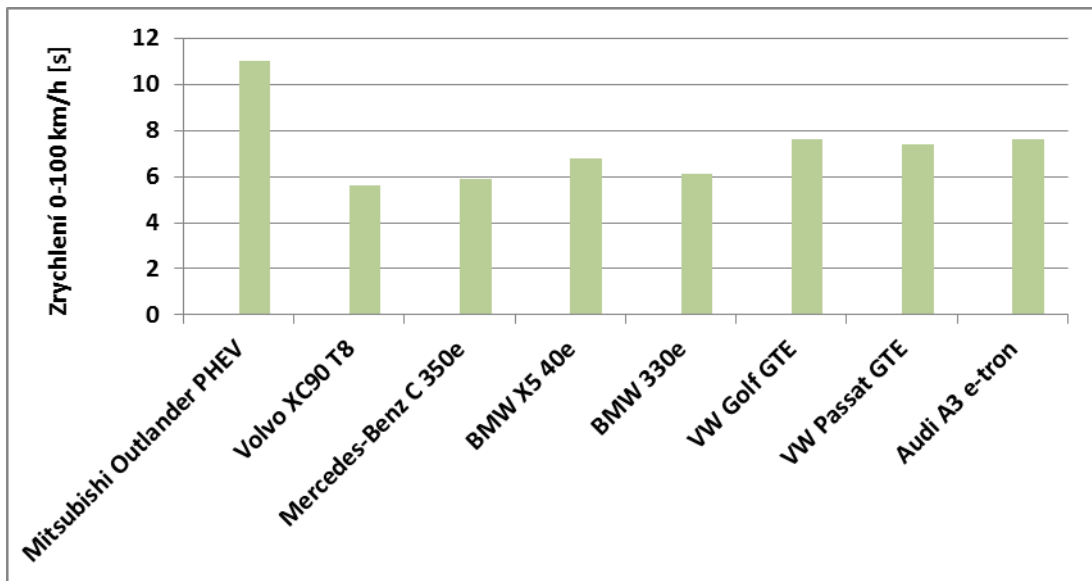
Obr. 24: Porovnání výkonů spalovacího motoru a elektromotoru hybridních vozidel



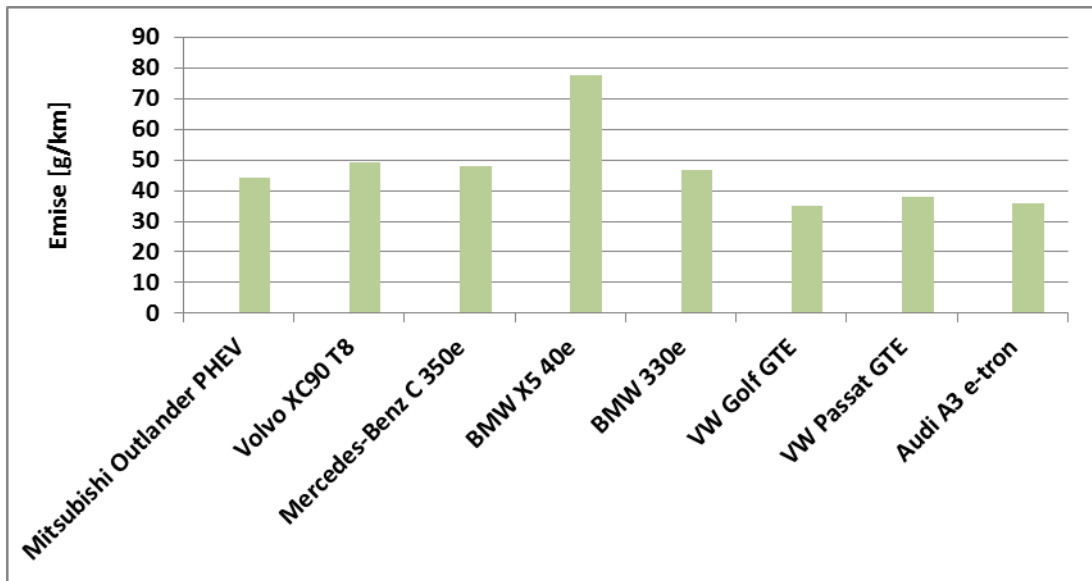
Obr. 25: Porovnání spotřeby hybridních vozidel



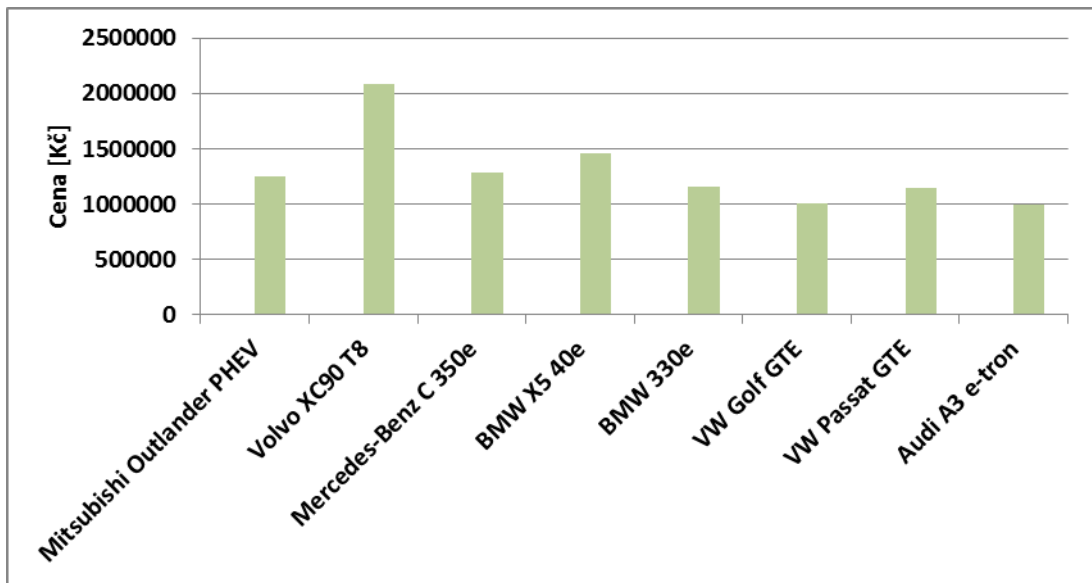
Obr. 26: Porovnání maximální rychlosti hybridních vozidel



Obr. 27: Porovnání zrychlení 0-100 km/h hybridních vozidel



Obr. 28: Porovnání produkce emisí hybridních vozidel



Obr. 29: Porovnání ceny hybridních vozidel

### 6.3.2 Zhodnocení grafického porovnání parametrů vybraných hybridních vozidel

K dalšímu hodnocení jsou z důvodu srovnatelných hodnot výkonu vybrána hybridní vozidla:

- Mitsubishi Outlander PHEV
- BMW 330e
- VW Golf GTE
- VW Passat GTE
- Audi A3 e-tron

Z vybraných vozidel má nejlepší kombinovanou spotřebu VW Golf GTE, jež je na 100 km 1,5 l benzínu a 7,2 kWh elektrické energie. Naopak nejhůře z grafu „*Obr. 25: Porovnání spotřeby hybridních vozidel*“ vyšel Mitsubishi Outlander PHEV, který na 100 km spotřebuje 1,9 l benzínu a 15 kWh elektrické energie.

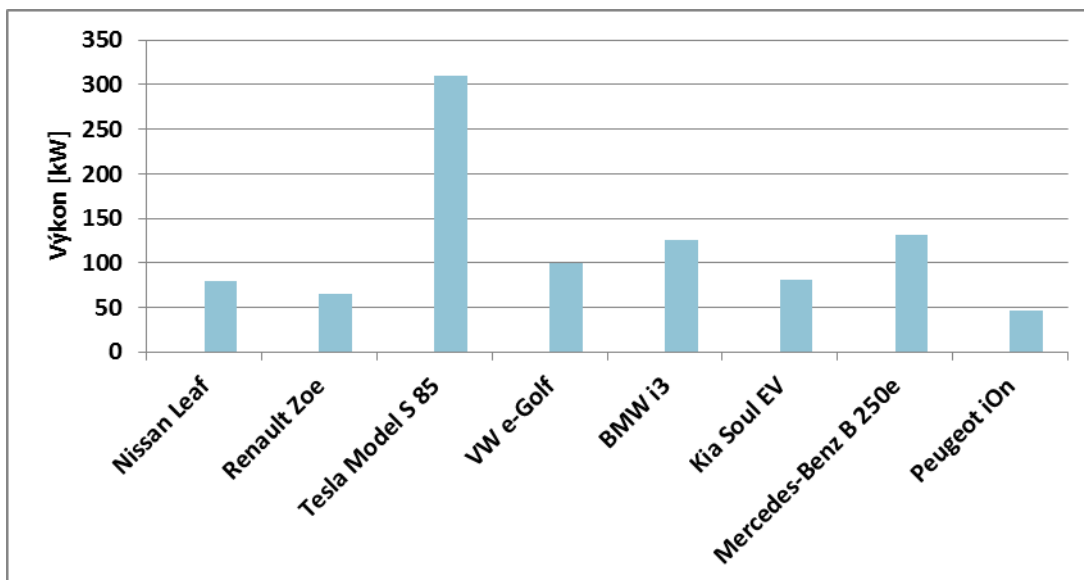
U maximální rychlosti jsou všechna srovnávaná vozidla, dle „*Obr. 26: Porovnání maximální rychlosti hybridních vozidel*“, na stejné úrovni. Pouze Mitsubishi Outlander PHEV je 50 km pod danou úrovní, vzhledem k užití dvou elektromotorů v daném typu vozidla lze snížení rychlosti přisoudit vyšší hmotnosti.

Stejně je to i při srovnání zrychlení z 0 na 100 km/h u „*Obr. 27: Porovnání zrychlení 0-100 km/h hybridních vozidel*“, kde vykazuje nejlepší čas BMW 330e a to 6,1 s. U Mitsubishi Outlander PHEV je to 11 s, což je téměř dvojnásobek.

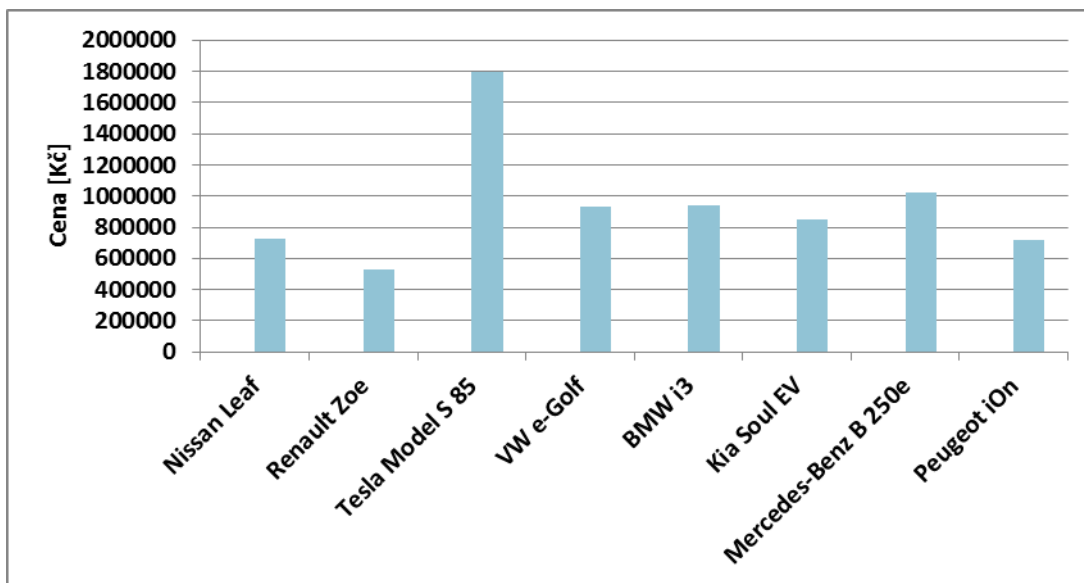
V produkci emisí jsou k prostředí nejšetrnější VW Golf GTE s 35 g/km a Audi A3 e-tron s 36 g/km. Nejméně šetrné je BMW 330e se 47 g/km. Viz „*Obr. 28: Porovnání produkce emisí hybridních vozidel*“.

Při srovnání cen, „*Obr. 29: Porovnání ceny hybridních vozidel*“, je zřejmé, že všechna vybrané vozidla se pohybují v přibližně stejné cenové hladině, nejlevnější vůz lze pořídit za 989 900 Kč - Audi A3 e-tron. Nejdražší Mitsubishi Outlander PHEV vyjde zhruba na 1 250 000 Kč.

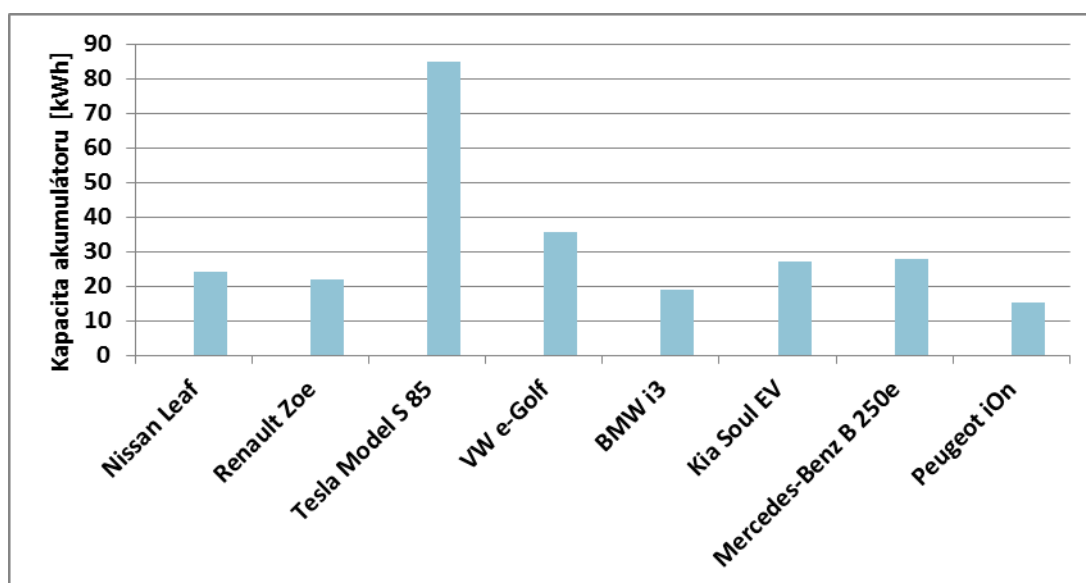
### 6.3.3 Grafické porovnání parametrů vybraných elektromobilů



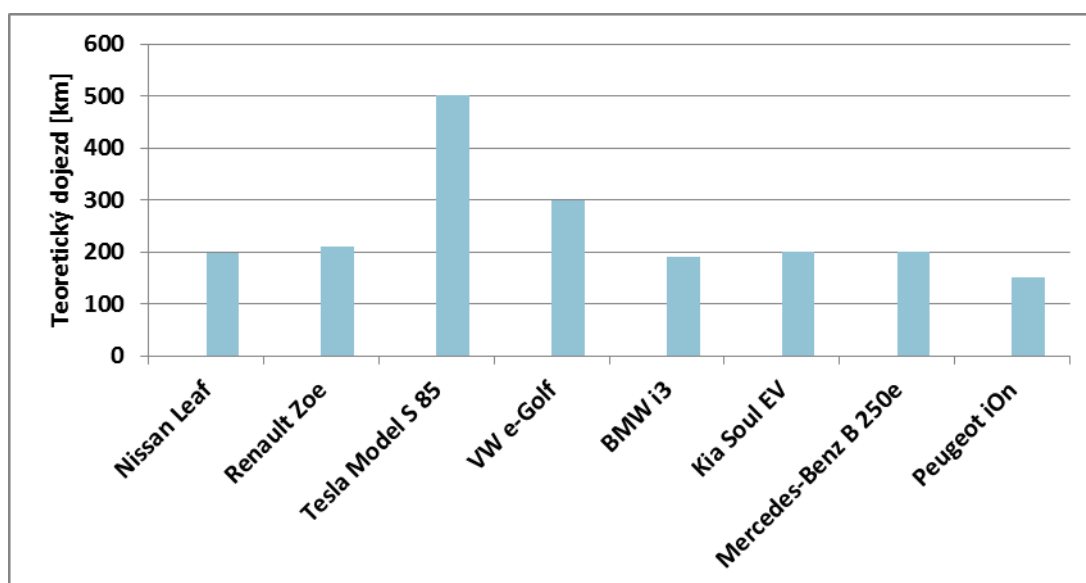
Obr. 30: Porovnání výkonu elektromobilů



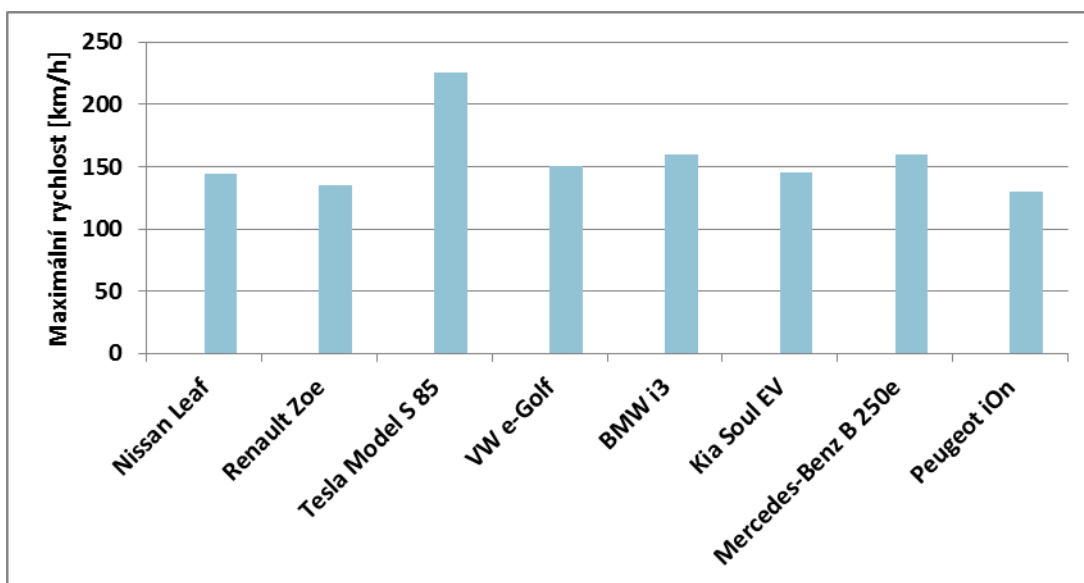
Obr. 31: Porovnání ceny elektromobilů



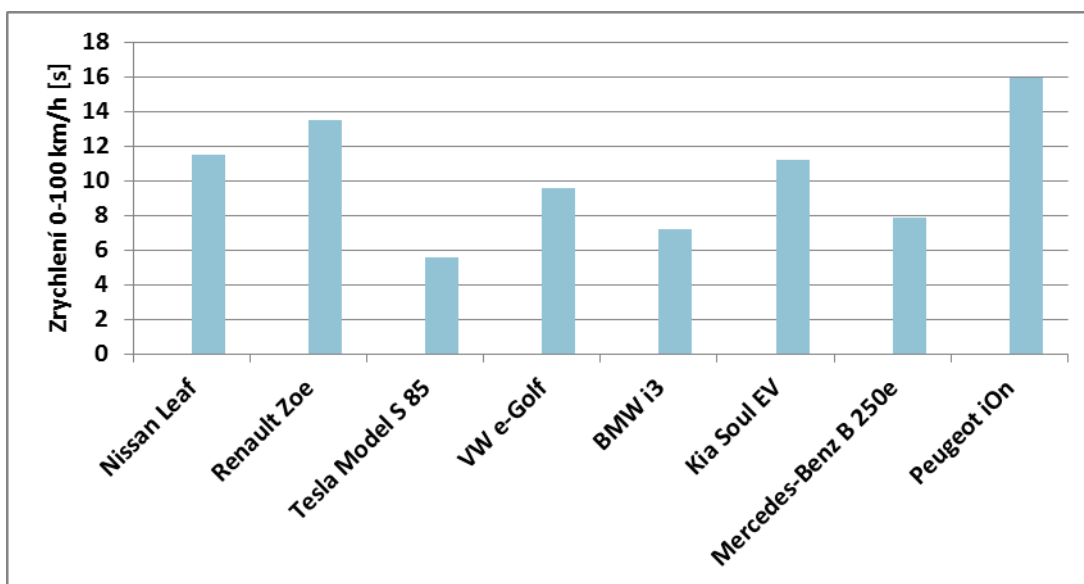
Obr. 32: Porovnání kapacity akumulátorů elektromobilů



Obr. 33: Porovnání teoretického dojezdu elektromobilů

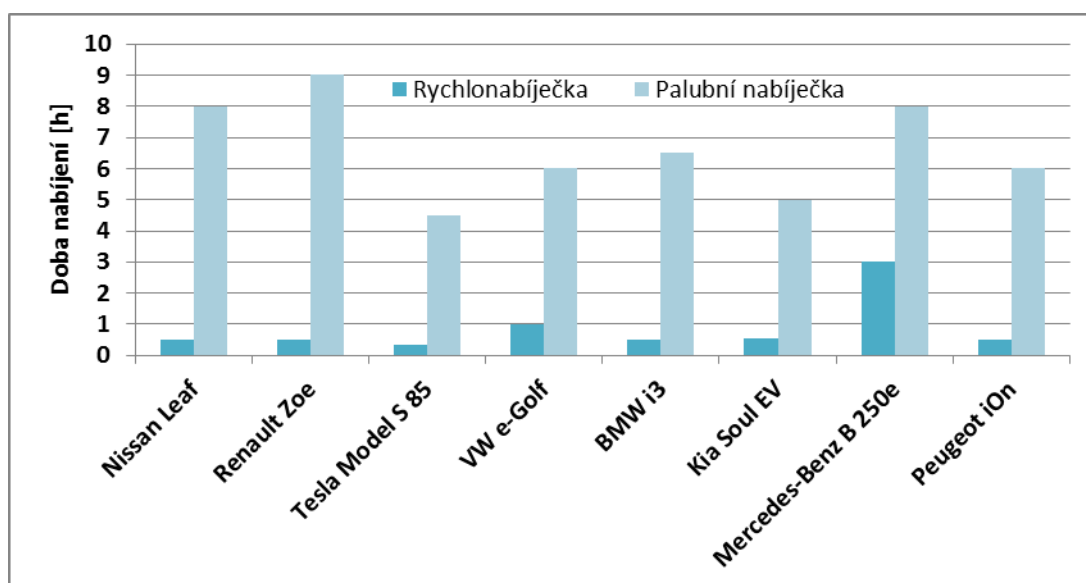


Obr. 34: Porovnání maximální rychlosti elektromobilů



Obr. 35: Porovnání zrychlení 0-100 km/h elektromobilů





Obr. 36: Porovnání doby nabíjení elektromobilů

### 6.3.4 Zhodnocení grafického porovnání parametrů vybraných elektromobilů

V dalším hodnocení z vybraných elektromobilů nebude figurovat Tesla Model S 85. Nejnižší výkon hodnoceného vozidla je 47 kW - Peugeot iOn, nejvyšší u vozidla Mercedes-Benz B 250e 132 kW.

Teoretický dojezd téměř odpovídá kapacitě akumulátorů – „*Obr. 32: Porovnání kapacity akumulátorů elektromobilů*“ a „*Obr. 33: Porovnání teoretického dojezdu elektromobilů*“. Nejmenší kapacitu 15,2 kWh s teoretickým dojezdem 150 km má Peugeot iOn. Největší teoretický dojezd 300 km s kapacitou 35,8 kWh má VW e-Golf.

Vzhledem k dojezdu je také velmi důležitá doba nabíjení akumulátorů, „*Obr. 36: Porovnání doby nabíjení elektromobilů*“. S rychlonabíječkou je to u většiny typů do 1 hodiny, jedinou výjimkou je Mercedes-Benz B 250e, zde se jedná o 3 hodiny. Doba nabíjení palubní nabíječkou je od 5 hodin u Kia Soul EV, až do 9 hodin u modelu Renault Zoe.

Maximální rychlost vozidel je srovnatelná v rozmezí od 130 km/h do 160 km/h, viz „*Obr. 34: Porovnání maximální rychlosti elektromobilů*“. U zrychlení z 0 na 100 km/h je nejrychlejší BMW i3, 7,2 s, a nejpomalejší Peugeot iOn s 15,9 s „*Obr. 35: Porovnání zrychlení 0-100 km/h elektromobilů*“.

Cena je zde velice různorodá, „*Obr. 31: Porovnání ceny elektromobilů*“, dá se však říct, že elektromobily jsou jedny z nejdražších vozidel. Nejlevnější je zde Renault Zoe v hodnotě 526 716 Kč. Nejdražší Mercedes-Benz B 250e v hodnotě 1 020 000 Kč.

## 7 DISKUZE

Pro lepší zhodnocení technických parametrů vybraných elektromobilů a hybridních vozidel je zde provedeno srovnání s vozidlem s tradičním zážehovým motorem, jehož technické parametry jsou uvedeny v „*Tab. 6: Technické parametry vozidla se zážehovým motorem - VW Golf Variant*“. K porovnání je vybrán z elektromobilů VW e-Golf a za hybridní vozidla VW Golf GTE, jejichž technické parametry jsou uvedeny v *Tab. 4* a *Tab. 2*.

*Tab. 6: Technické parametry vozidla se zážehovým motorem - VW Golf Variant*

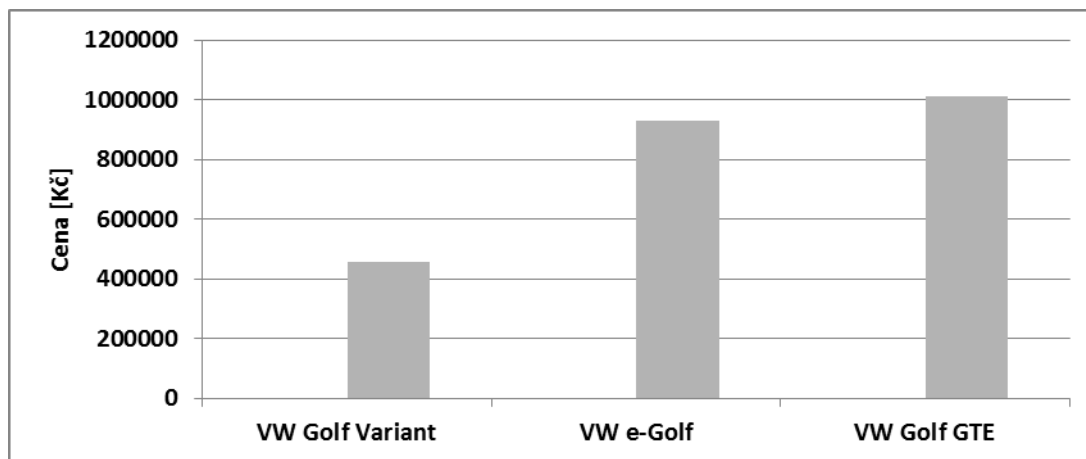
Typ	Technické parametry	Cena [Kč]	Spalovací motor	Objem motoru [l (cm <sup>3</sup> )]	Výkon spalovacího motoru [kW/min <sup>-1</sup> ]	Maximální točivý moment [Nm/min <sup>-1</sup> ]	Emisní norma	Kombinovaná spotřeba [l/100 km]	Maximální rychlost [km/h]	Zrychlení 0-100 km/h [s]	Emise* [g/km]
<b>VW Golf Variant</b> Zdroj: <a href="http://www.auto.cz">www.auto.cz</a>		457 900	4 válcový zážehový	1,4 (1395)	90/5000	250/ 1500 - 4000	Euro 6	5,3	204	9,7	124

\*g/jízdní cyklus



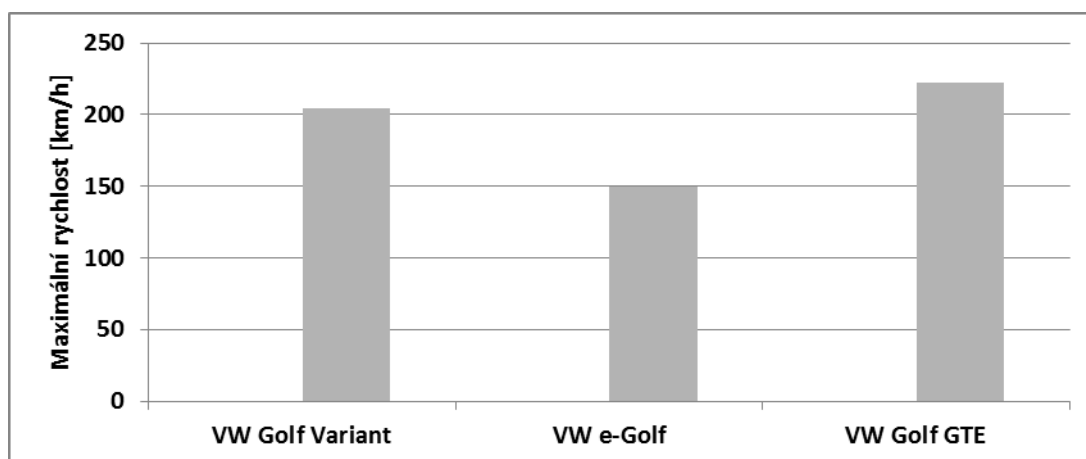
*Obr. 37: VW Golf Variant*  
Zdroj: [www.autojarov-kunratice.cz](http://www.autojarov-kunratice.cz)

Při porovnání ceny různých typů pohonů z Obr. 38 je jednoznačně cenově nejvýhodnější VW Golf Variant s tradičním zážehovým motorem, jehož cena je více jak dvojnásobně nižší ve srovnání s vozidly stejného typu elektromobilu a hybridního vozidla.



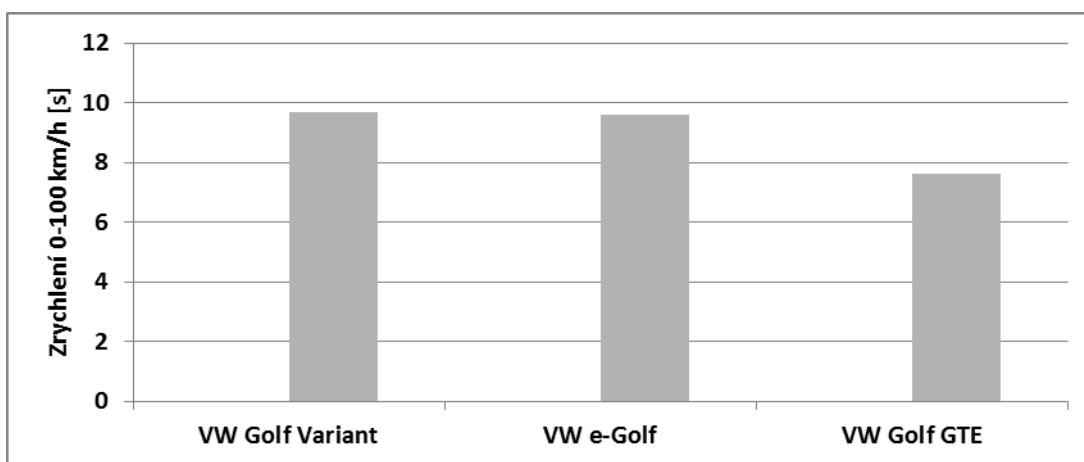
Obr. 38: Porovnání ceny různých typů pohonů

U maximální rychlosti z Obr. 39 je zřejmý rozdíl u elektromobilu, kde často velkou roli hraje váha uložených akumulátorů.



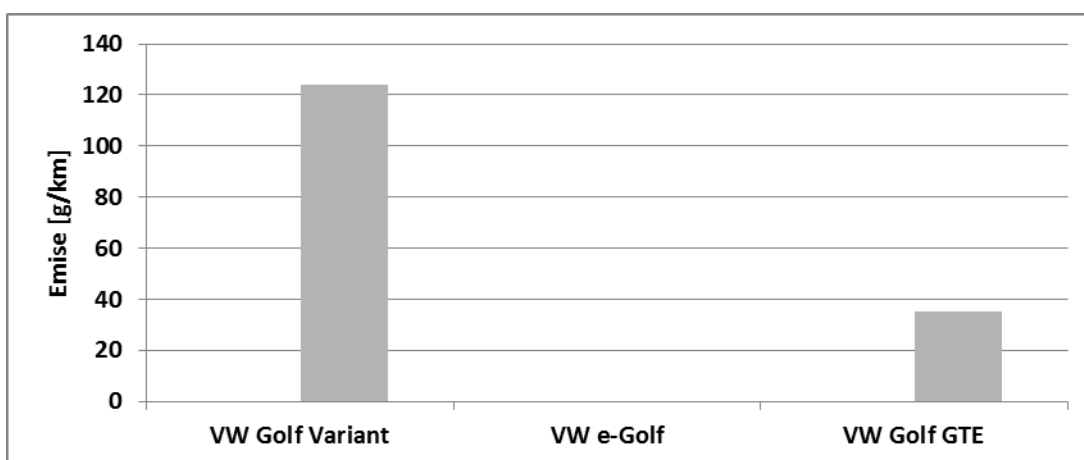
Obr. 39: Porovnání maximální rychlosti různých typů pohonů

Zrychlení z 0 na 100 km/h vévodí hybridní pohon, což je patrné z Obr. 40.



Obr. 40: Porovnání zrychlení z 0-100 km/h různých typů pohonů

Z Obr. 41 lze vyčíst zásadní důvod, pro který je důležité alternativní pohony vyvíjet, jelikož produkce emisí produkovaná provozem těchto vozidel je několikanásobně nižší než u tradičních spalovacích motorů, až téměř nulová.



Obr. 41: Porovnání produkce emisí různých typů pohonů

## 8 ZÁVĚR

Hybridní a elektrický pohon je jednou z možností alternativního řešení, které je vyvíjeno již od 19. století. V dnešní době má každá větší automobilka zájem na tom, aby mohla nabídnout i tyto varianty modelů. Největší překážkou průniku na masový trh je cena, kapacita, životnost a hmotnost akumulátorů.

Hybridní pohon se již do podvědomí zákazníků dostal daleko více, jelikož kombinuje vždy dva odlišné systémy pohonů. Nejvýhodnější kombinací bývá spojení klasického spalovacího či vznětového motoru s elektromotorem. Jde o efektivní spojení výhod obou pohonů. Dle uspořádání ústrojí dělíme hybridy na sériové, paralelní a smíšené. Nejčastěji se v běžném provozu můžeme setkat s plug-in hybridem, který je možno dobíjet přímo z elektrické sítě. Elektromotor vykonává funkci pohonné jednotky i generátoru. Výhodou je dobíjení za jízdy, velký dojezd a rychlost díky spalovacímu motoru.

Elektromobily se vyznačují absencí výfukových plynů a velmi nízkou hladinou hluku. U elektromobilů jsou zkoušeny všechny druhy elektromotorů – sériový stejnosměrný nebo paralelní motor, případně s cizím buzením, asynchronní motor s tranzistorovou regulací a synchronní motor s permanentními magnety. Největší problém spočívá v krátkém dojezdu a délce dobíjení. I přes, v posledních letech, velké rozšíření sítě nabíjecích stanic, jejich počet je stále na území ČR nedostatečný.

Z hodnocených parametrů je jasně patrná vysoká cena vozidel, která se odvíjí od ceny akumulátorů. U maximální rychlosti a zrychlení z 0 na 100 km/h je vidět efektivní kombinace dvou různých pohonů u hybridních vozidel.

Z hlediska produkce emisí jsou alternativní pohony velkým přínosem hlavně z globálního hlediska šetření životního prostředí. V případě příznivého technologického vývoje mohou být hybridní pohony pouze mezičlánkem a předzvěstí nové éry. Elektromobily jsou již velmi zajímavé, hlavně v případě technologického vývoje a cenového zprístupnění akumulátorů.

## 9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### 9.1 Literární zdroje

KAMEŠ, J. *Alternativní pohon automobilů*. Praha: BEN, 2004. 232 s. ISBN 80-7300-127-6.

TKOTZ, K. *Průručka pro elektrotechnika*. 2., dopl. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. 624 s. ISBN 80-86706-13-3.

VLK, F. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2004. 234 s. ISBN 80-239-1602-5.

### 9.2 Elektronické zdroje

AUTO CZ: Hybridní automobily - historie [online]. 2008 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://baracadaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobily-historie/>

Auto-mania.cz: Toyota prodala celosvětově přes 10 milionů vozů s hybridním pohonem [online]. 2017 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://auto-mania.cz/toyota-prodala-celosvetove-pres-10-milionu-vozu-s-hybridnim-pohonem/>

BURKOVIČ, Radovan. Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenale-  
tět [online]. 2014 [cit. 2017-04-06]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-venaletet>

DUSIL, Tomáš. Není hybrid jako hybrid [online]. 2016 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/neni-hybrid-cim-jednotlive-systemy-lisi-100314>

Elektromobily informace: Li-Ion baterie [online]. 2010 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/li-ion-akumulatory>

HORČÍK, Jan. Historie hybridních aut, 1. díl [online]. 2009 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-1-dil>

HORČÍK, Jan. Historie hybridních aut, 2. díl [online]. 2009 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-2-dil>

HORČÍK, Jan. Historie hybridních aut, 3. díl [online]. 2009 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/historie-hybridnich-aut-3-dil>

- HOUSER, Pavel. Chytrá baterie z lithia, síry a uhlíku [online]. 2012 [cit. 2017-04-05]. Dostupné z: <http://computerworld.cz/technologie/chytra-baterie-z-lithia-siry-a-uhliku-45054>
- Hybrid.cz: Diesel hybrid [online]. 2007 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tagy/diesel-hybrid>
- Hybrid.cz: Rekuperace [online]. 2007 [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tagy/rekuperace>
- JIRKA, Tomáš. Hybridní systémy pro pohon automobil [online]. 2015 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu/>
- MICHL, Pavel. Mlhavá budoucnost elektromobilů. Kolik jich vyjede v roce 2020? [online]. 2017 [cit. 2017-04-11]. Dostupné z: <http://www.euro.cz/byznys/mlhava-budoucnost-elektromobilu-kolik-jich-vyjede-v-roce-2020-1323261>
- PLOMER, Jan. Setrvačnick, inovativní řešení pro hybridní a elektrická vozidla, 1. díl [online]. In: . 2010 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/clanky/setrvacnik-inovativni-reseni-pro-hybridni-elektricka-vozidla-1-dil>
- SVATOŠ, Patrik. Elektromobily, které neznáte: GM EV1 [online]. 2016 [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/elektromobily-ktere-neznate-gm-ev1-488>
- VEJBOR, Jan. Stručná historie elektromobilu [online]. 2015 [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://www.elektromobily-os.cz/stru%C4%8Dn%C3%A1-historie-elektromobilu>
- VINKLEROVÁ, Tereza. Studie: Budoucnost alternativních paliv v osobní dopravě [online]. 2016 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.institutee.cz/studie-budoucnost-alternativnich-paliv-v-osobni-doprave>
- Vítejte na Zemi... [online]. 2013 [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=elektromotory&site=doprava>
- Výzkum vývoj automotive: Dědeček elektromobil a co ho ještě čeká [online]. 2016 [cit. 2017-03-09]. Dostupné z: <http://www.vvautomotive.cz/dedecek-elektromobil-a-co-ho-jeste-ceka/>



**10 SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1: Lehner Porsche Mixte hybrid .....	13
Obr. 2: Patentový nákres hybridního auta Henriho Piepera .....	14
Obr. 3: General Motors GM 512 .....	15
Obr. 4: Schéma sériového hybridního systému .....	16
Obr. 5: Schéma paralelního hybridního systému.....	17
Obr. 6: Schéma smíšeného hybridního systému .....	18
Obr. 7: Složení superkondenzátoru.....	21
Obr. 8: Elektrický kočár Roberta Andersona.....	24
Obr. 9: La Jamais Contente.....	25
Obr. 10: První Československý městský elektromobil – EMA .....	26
Obr. 11: Vnitřek elektromobilu GM EV1 1996.....	27
Obr. 12: Sešrotování modelu EV1 samotnou automobilkou General Motors.....	28
Obr. 13: Princip konstrukce elektromotoru .....	29
Obr. 14: Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily .....	30
Obr. 15: Stejnoseměrný motor s cizím buzením (běh doleva) .....	32
Obr. 16: Synchronní motor s permanentním buzením.....	34
Obr. 17: Magnetický elektromotor .....	35
Obr. 18: Řízený reluktanční motor .....	36
Obr. 19: Klasické složení olověného akumulátoru .....	38
Obr. 20: Plynotěsný nikl-kadmium akumulátor .....	39
Obr. 21: Princip lithium-iontového akumulátoru .....	40
Obr. 22: Přehled dobíjecích konektorů pro elektromobily dle stávajících norem .....	43
Obr. 23: Mapa dobíjecích stanic v ČR.....	43
Obr. 24: Porovnání výkonů spalovacího motoru a elektromotoru hybridních vozidel ..	50
Obr. 25: Porovnání spotřeby hybridních vozidel.....	50
Obr. 26: Porovnání maximální rychlosti hybridních vozidel .....	51
Obr. 27: Porovnání zrychlení 0-100 km/h hybridních vozidel .....	51
Obr. 28: Porovnání produkce emisí hybridních vozidel .....	52

Obr. 29: Porovnání ceny hybridních vozidel .....	52
Obr. 30: Porovnání výkonu elektromobilů .....	54
Obr. 31: Porovnání ceny elektromobilů.....	54
Obr. 32: Porovnání kapacity akumulátorů elektromobilů .....	55
Obr. 33: Porovnání teoretického dojezdu elektromobilů.....	55
Obr. 34: Porovnání maximální rychlosti elektromobilů .....	56
Obr. 35: Porovnání zrychlení 0-100 km/h elektromobilů.....	56
Obr. 36: Porovnání doby nabíjení elektromobilů .....	57
Obr. 37: VW Golf Variant .....	59
Obr. 38: Porovnání ceny různých typů pohonů .....	60
Obr. 39: Porovnání maximální rychlosti různých typů pohonů.....	60
Obr. 40: Porovnání zrychlení z 0-100 km/h různých typů pohonů .....	61
Obr. 41: Porovnání produkce emisí různých typů pohonů .....	61

## **11 SEZNAM TABULEK**

Tab. 1: Prodej hybridních vozů značky Toyota na základě údajů TMC .....	22
Tab. 2: Technické parametry vybraných vozidel - Hybridní vozidla 1/2.....	46
Tab. 3: Technické parametry vybraných vozidel - Hybridní vozidla 2/2.....	47
Tab. 4: Technické parametry vybraných vozidel - Elektromobily 1/2.....	48
Tab. 5: Technické parametry vybraných vozidel - Elektromobily 2/2.....	49
Tab. 6: Technické parametry vozidla se zážehovým motorem - VW Golf Variant .....	59

