



Alternativní pohony silničních vozidel

Bakalářská práce

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

Vypracoval:
Pavel Švéda

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci na téma Alternativní pohony silničních vozidel vypracoval 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 ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, 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:.....

.....
podpis

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu prof. Ing. Františku Bauerovi, CSc., za příkladné vedení, cenné připomínky, laskavý přístup, trpělivost a ochotu.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá alternativními pohony silničních vozidel, jejich vybranými druhy a popisem používaných technologií.

První část práce řeší problematiku elektromobilů a automobilů s hybridním pohonem. Popsána je historie pohonu, základní funkční prvky vozidel, zhodnocení pohonu a nastínění budoucnosti těchto vozů. U elektromobilů je navíc popsána problematika jejich nabíjení.

Další kapitolou je přehled současných elektrických a hybridních vozidel a jejich technické údaje, jako jsou např. parametry motoru, baterií nebo spotřeby paliva.

Poslední částí bakalářské práce je vlastní zhodnocení vybraných vozidel, a to benzínového, elektrického a hybridního automobilu. V této kapitole je zpracována technicko-ekonomická analýza těchto vozidel, která zahrnuje výpočet nákladů za provoz a technické parametry vozidel.

Výsledky analýzy ukázaly, že benzínový vůz je ekonomicky nejvýhodnější, a to především kvůli pořizovací ceně, která kompenzuje náklady za servis a provoz.

Klíčová slova: elektromobil, hybrid, baterie, elektromotor, akumulátor

Abstract

Bachelor's thesis deals with alternative drives of road vehicles, their selected types and a description of the technologies used.

The first part of the work deals with electric vehicles and cars with hybrid drive. There is described the history of the drive, the basic functional elements of the vehicles, the evaluation of the drive and the outline of the future of these cars. In the case of electric vehicles there is also described the issue of their charge.

The next chapter is an overview of the current electric and hybrid vehicles, and their technical data, such as the engine parameters, battery or fuel consumption.

The last part of the Bachelor's thesis is an evaluation of selected vehicles, gasoline, electric and hybrid cars. In this chapter, the technical-economic analysis of these vehicles is made. It includes the calculation of the cost of the operation and the technical parameters of the vehicles.

The results of the analysis showed that the gasoline car is economically the most advantageous, primarily because of the cost, which compensates for the cost of service and operation.

Keywords: electric car, hybrid, battery, electric motor, battery

OBSAH

| | | |
|----------|------------------------------------------------|-----------|
| 1 | ÚVOD | 9 |
| 2 | CÍL PRÁCE | 10 |
| 3 | ELEKTROMOBILY | 11 |
| 3.1 | Historie elektromobilů | 11 |
| 3.2 | Uspořádání ústrojí elektromobilů..... | 12 |
| 3.3 | Baterie | 12 |
| 3.3.1 | Olověný akumulátor | 13 |
| 3.3.2 | Baterie nikl-kadmiová..... | 14 |
| 3.3.3 | Baterie nikl-metalhydridová | 15 |
| 3.3.4 | Baterie lithium-iontová | 15 |
| 3.3.5 | Baterie lithium-polymerová..... | 16 |
| 3.3.6 | Baterie hliníko-vzduchová..... | 16 |
| 3.4 | Elektromotory | 17 |
| 3.4.1 | Stejnoseměrné elektromotory | 17 |
| 3.4.1.1 | Stejnoseměrný motor se sériovým buzením..... | 17 |
| 3.4.1.2 | Stejnoseměrný motor s cizím buzením | 18 |
| 3.4.1.3 | Stejnoseměrný motor s derivačním buzením | 18 |
| 3.4.1.4 | Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením | 18 |
| 3.4.2 | Střídavé elektromotory | 19 |
| 3.4.2.1 | Asynchronní motor | 19 |
| 3.4.2.2 | Synchronní motor | 20 |
| 3.4.2.3 | Řízený reluktanční motor | 20 |
| 3.5 | Nabíjení elektromobilů..... | 20 |
| 3.6 | Budoucnost elektromobilů | 23 |
| 3.7 | Zhodnocení elektrického pohonu | 23 |
| 4 | VOZIDLA S HYBRIDNÍM POHONEM | 24 |
| 4.1 | Historie | 24 |

| | | |
|----------|----------------------------------------------------|-----------|
| 4.2 | Uspořádání ústrojí hybridního pohonu..... | 24 |
| 4.2.1 | Sériové uspořádání..... | 24 |
| 4.2.2 | Paralelní uspořádání..... | 25 |
| 4.3 | Dělení hybridních vozidel..... | 26 |
| 4.3.1 | Full hybrid..... | 26 |
| 4.3.2 | Plug-in hybrid..... | 26 |
| 4.3.3 | Power assist hybrid..... | 26 |
| 4.3.4 | Mild hybrid..... | 27 |
| 4.3.5 | Diesel hybrid..... | 27 |
| 4.4 | Zásobníky energie..... | 27 |
| 4.4.1 | Baterie..... | 27 |
| 4.4.2 | Vysokoenergetický kondenzátor..... | 27 |
| 4.4.3 | Mechanický akumulátor energie..... | 28 |
| 4.4.4 | Hydrostatický akumulátor energie..... | 28 |
| 4.5 | Princip činnosti hybridního pohonu..... | 29 |
| 4.6 | Budoucnost hybridních vozidel..... | 30 |
| 4.7 | Zhodnocení hybridního pohonu..... | 30 |
| 5 | TEHCNICKÉ PARAMETRY VYBRANÝCH VOZIDEL | 31 |
| 5.1 | Elektromobily..... | 31 |
| 5.1.1 | Nissan LEAF..... | 31 |
| 5.1.2 | Peugeot iOn..... | 32 |
| 5.1.3 | Kia Soul EV..... | 33 |
| 5.1.4 | BMW i3 BEV..... | 34 |
| 5.1.5 | Mercedes-Benz B Electric Drive..... | 35 |
| 5.2 | Hybridní vozy..... | 36 |
| 5.2.1 | Toyota Auris ACTIVE..... | 36 |
| 5.2.2 | Lexus CT200h Eco..... | 37 |
| 5.2.3 | Volvo V60 PHEV..... | 38 |
| 5.2.4 | Toyota Prius Live..... | 39 |

| | | |
|-----------|----------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.5 | Volkswagen Passat GTE..... | 40 |
| 6 | TECHNICKO-EKONOMICKÁ ANALÝZA | 41 |
| 6.1 | Benzínový vůz..... | 41 |
| 6.1.1 | Náklady za palivo | 42 |
| 6.1.2 | Povinné ručení | 43 |
| 6.1.3 | Servis | 43 |
| 6.1.4 | Dojezd..... | 43 |
| 6.2 | Elektromobil..... | 43 |
| 6.2.1 | Náklady za elektřinu | 45 |
| 6.2.2 | Servis | 45 |
| 6.2.3 | Povinné ručení | 45 |
| 6.2.4 | Dojezd..... | 45 |
| 6.3 | Plug-in hybrid..... | 46 |
| 6.3.1 | Náklady za palivo | 47 |
| 6.3.2 | Servis | 47 |
| 6.3.3 | Povinné ručení | 48 |
| 6.3.4 | Dojezd..... | 48 |
| 6.4 | Zhodnocení nákladů na provoz vybraných vozidel | 48 |
| 6.5 | Zhodnocení technických parametrů vybraných vozidel | 50 |
| 7 | ZÁVĚR..... | 54 |
| 8 | POUŽITÉ ZDROJE | 55 |
| 8.1 | Seznam literatury | 55 |
| 8.2 | Periodika | 55 |
| 8.3 | Internetové zdroje..... | 55 |
| 9 | SEZNAM OBRÁZKŮ | 57 |
| 10 | SEZNAM TABULEK..... | 59 |

1 ÚVOD

Alternativní pohony silničních vozidel jsou v dnešní době velmi diskutovaným tématem, protože osobní doprava je jedna z nejvyhledávanějších a nejpoužívanějších doprav nejen u nás v Evropě. Je to dáno dobrou cenovou dostupností automobilů, jejich variabilitou použití a pohodlím, které poskytují cestujícím oproti veřejné dopravě.

Dalším diskutovaným tématem je ekologie. Nárůstem automobilové dopravy je uvolňováno do ovzduší velké množství škodlivých plynů, které mají za následek tzv. skleníkový efekt, a tím způsobené globální oteplování. Kvůli snižování emisí se vyvíjejí novější a sofistikovanější pohonné jednotky, které jsou nahrazovány, či kombinovány s elektromotory.

Elektromotory jsou výhodné především díky své jednoduché a lehké konstrukci a také dobrým parametrům, které potřebujeme dosáhnout v automobilech. Největší slabinou je však napájení. Zatím není v lidských silách vyvinout baterie, které by dokázaly uchovat dostatečné množství energie a byly tak konkurenceschopné dojezdu spalovacích motorů. Proto nejsou elektromobily zatím nejvyhledávanějšími vozy. Dalším kritériem je pořizovací cena, která je u elektrických či hybridních vozů několikanásobně vyšší než u klasických automobilů, a proto běžný uživatel zvolí levnější variantu a neohlíží se na životní prostředí.

Alternativní pohonné jednotky však mají svoje místo a budoucnost. Je jen otázka času, kdy se masivně rozšíří mezi běžné uživatele. Proto je potřeba zabývat se tímto vývojem a sledovat týmy, které se po celém světě snaží vyvinout pohonné ústrojí, které nahradí vozy takové, jaké známe dnes.

2 CÍL PRÁCE

Cílem bakalářské práce je vytvořit přehled vybraných alternativních pohonů, jejich rozdělení, koncepci a vytvořit přehled nabízených vozidel. Dále shromáždit technické parametry vybraných typů vozidel, tabulkově je zpracovat a provést technicko-ekonomickou analýzu.

3 ELEKTROMOBILY

Elektrický pohon vozidel je jednou z možností alternativních pohonů vozidel. Tento pohon neprodukuje žádné škodlivé emise, má velmi nízkou hladinu hluku při provozu a příznivou výkonovou charakteristiku. Na druhou stranu nedosahuje tak velkých jízdních výkonů, mají omezený dojezd, vyšší cenu, případně větší nebezpečí při havárii (HROMÁDKO, 2012).

3.1 Historie elektromobilů

Profesor Sibrandus Stratingh z Groningen (Holandsko) navrhl v roce 1835 malý elektromobil, který postavil jeho asistent Christopher Becker (HROMÁDKO, 2012).

Mezi první významné konstruktéry elektromobilů patřil v 80. letech 19. století Francouz H. Krieger. Jeho zásluhou jezdily v Paříži elektrické drožky. Nejúspěšnější vozy byly vybaveny dvěma elektromotory, které poháněly každé kolo samostatně.

U nás postavil první elektromobil v roce 1985 elektrotechnik Ing. František Křížík. Byl to dvoumístný vozík. Stejnoseměrný elektromotor měl výkon 3 kW a poháněl tuhou zadní nápravu s diferenciálem pomocí redukčního ozubeného převodu. K rámu byly upevněny nápravy. Od rámu byla otevřená karoserie odpružena pomocí listových per. Zde bylo nad zadní nápravou uloženo 42 olověných akumulátorů. F. Křížík vyrobil také další dva vozy, z nichž jeden měl elektromotory integrované do kol a druhý disponoval elektrickým a spalovacím motorem.

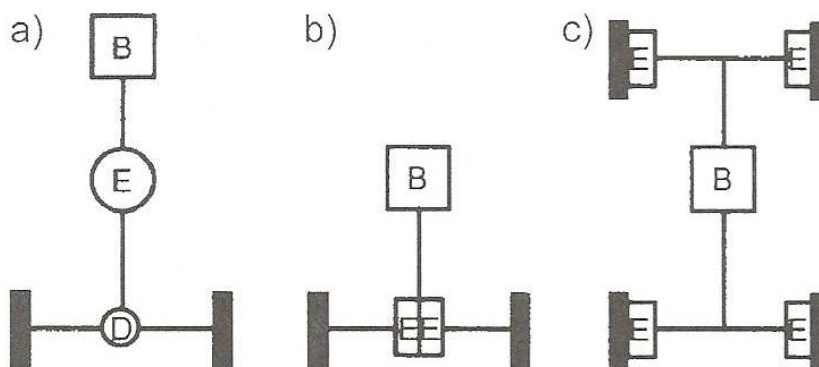
Vídeňská továrna na kočáry J. Lohner začala v roce 1896 vyrábět první sériové elektromobily. Na tomto zrodu se podílela mimo jiné i význačná ikona automobilového průmyslu Ferdinand Porche, který byl také autorem prvního hybridního pohonu (VLK, 2004).

V USA v roce 1900 bylo více elektromobilů, než vozů se spalovacím motorem a elektromobily se těšily velké oblibě díky jednoduchému ovládní, a to především kvůli absenci fyzicky náročného startování klikou (HROMÁDKO, 2012).

V České republice byly ve spolupráci s Výzkumným ústavem elektrických strojů (VÚES) v Brně a katedrou spalovacích motorů a motorových vozidel FS VUT v Brně začátkem 70. let vytvořeny dva funkční elektromobily EMA (elektrický městský automobil). Byly to vozy EMA 1, která byla malý osobní automobil a EMA 2 představovala užitková vozidla (VLK, 2004).

3.2 Uspořádání ústrojí elektromobilů

Hnací ústrojí u elektromobilů je koncipováno podobně jako u automobilů se spalovacím motorem. Je tvořeno z motoru, převodovky, hnacích hřídelí a diferenciálu s rozvodovkou. Nejvíce používaný je přední nebo zadní pohon s centrálním elektromotorem a alternativou jsou tandemové hnací systémy se dvěma elektromotory, či s elektromotory umístěnými přímo v kolech (VLK, 2004).



B - baterie, D - diferenciál, E - elektromotor a usměrňovač příp. převodovka

a) přední nebo zadní pohon, b) tandemový pohon, c) pohon v nábojích kol

Obr. 1: Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily (VLK, 2004)

3.3 Baterie

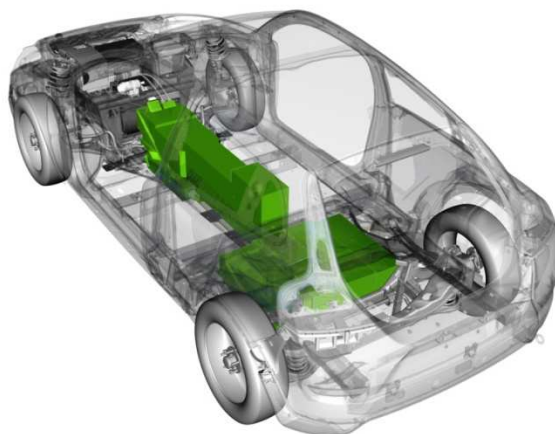
Baterie a akumulátory mění chemickou energii přímo na elektrickou. Pracují na principu dvou elektrod z různých materiálů ponořených do kapalné nebo pevné látky (elektrolytu), která obsahuje elektricky nabitě částičky. Tím je zajištěno vodivé spojení uvnitř článku mezi oběma elektrodami. Elektrolyt tvoří většinou zředěná kyselina, zásada nebo rozpuštěná sůl. Elektrody mají určitý rozdílný potenciál oproti elektrolytu, odpovídající jejich rozdílné pozici v elektrochemické napěťové řadě, což vytváří mezi nimi napětí (KAMEŠ, 2004).

Rozlišujeme dva druhy chemických článků, a to primární a sekundární. U primárního článku se mění pouze chemická energie v elektrickou a proces je nevratný. U sekundárního článku proces probíhá oboustranně. Chemická energie se mění v elektrickou (vybití) nebo elektrická v chemickou (nabíjení). Pro vozidla jsou používány články výhradně sekundární (JAN A KOL., 2006).

Velikost napětí mezi elektrodami galvanického článku není závislá na velikosti nebo tvaru elektrod, ale na jejich materiálu. Hodnoty napětí se typicky pohybují

mezi 1 až 4 V. Potřebujeme-li získat vyšší napětí, spojujeme více galvanických článků do řady.

Baterie se u dnešních elektromobilů ukládají nejčastěji do podlahy vozu. Dříve se baterie umísťovaly do prostoru místo spalovacího motoru, nebo do zavazadlového prostoru (HROMÁDKO, 2012).



Obr. 2: Uložení baterií v podlaze elektromobilu Volvo E30 Electric

Zdroj: <http://www.thedetroitbureau.com/wp-content/uploads/2009/09/Volvo-C30-EV.jpg>

3.3.1 Olověný akumulátor

Baterie je sestavena z elektrod (desek), které jsou vyrobeny jako mřížky, odlité z olova a legovány různými přísadami, zejména antimonem (tvrdé olovo). Tyto mřížky slouží k přenosu činné hmoty. Desky mohou být kladné či záporné a spojují se paralelně do deskových sad. Typem desky se také liší složení činné hmoty. U kladné desky je to oxid olovičitý a u záporné je čisté houbovitě olovo. Při vybíjení se na obou deskách mění aktivní hmota na síran olovnatý. Desky v článku jsou proloženy separátory, které brání dotyku jednotlivých vložek. Udržují mezi nimi určitou vzdálenost, zpevňují soustavu a ovlivňují vlastnosti akumulátoru především za nízkých teplot. Jako elektrolyt se používá zředěná kyselina sírová (JAN A KOL., 2006).

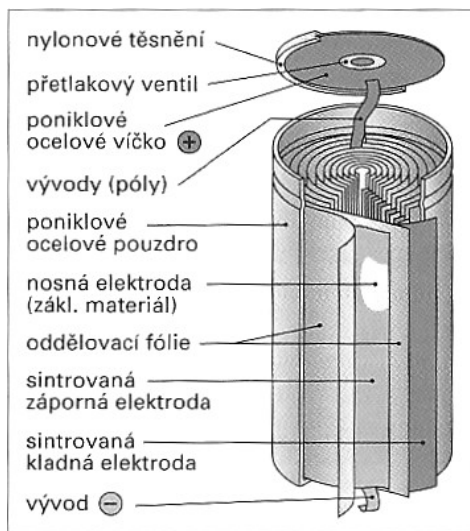
Novějším typem olověného akumulátoru je akumulátor se spirálovými články. Jeho výhodou je zhruba 3x větší životnost. Nosné části desek jsou z čistého olova a elektrolyt je obsažen v mikroporézní skelné vatě separátorů. Při nabíjení se vytváří vodík a kyslík. Při vybíjení jsou rekombinovány na vodu a akumulátor je tím pádem bezúdržbový (VLK, 2004).

Nevýhodou olověných baterií je, že jsou velmi těžké a je do nich možno akumulovat poměrně málo energie (asi 25 Wh/kg). Výhodou je jejich nižší cena oproti jiným akumulátorům. Životnost baterií použitých u vozidel s elektrickým pohonem je asi 4 roky nebo 300 cyklů nabíjení a vybíjení a dojezd 25 000 km. Dojezd vozidel s tímto typem akumulátoru je 50 km na jedno nabití. Tento dojezd je závislý na teplotě, kdy se snižující se teplotou se snižuje také jejich kapacita.

Olověné akumulátory se využívaly dříve a dnes je v elektromobilech nevidíme, a to především kvůli jejich velké hmotnosti. Nahrazují se výkonnějšími a modernějšími akumulátory a jsou zde uvedeny pro porovnání s ostatními bateriemi (HROMÁDKO, 2012).

3.3.2 Baterie nikel-kadmiová

Konstrukce těchto baterií je podobná jako u olověných akumulátorů. Hlavním rozdílem je pouze použitý materiál u elektrod a druh elektrolytu (JAN A KOL., 2006).



Obr. 3: Plynotěsný NiCd akumulátor (TKOTZ A KOL., 2006)

Elektrody jsou složeny z vláken obsahujících elektricky vodivých niklem vrstvených materiálů. Aktivní hmoty nikloxid a kadmium umožňují silné vybití baterie. Na transportu iontů mezi elektrodami se podílí vodný roztok hydroxidu draselného (KAMEŠ, 2004).

Jde o baterie plně recyklovatelné a bezúdržbové. Jejich životnost je až 10 let nebo 2000 cyklů (VLK, 2004). Jsou-li použity v elektromobilu, musí být v plynotěsné verzi a kapacita může být zvýšena speciální stavbou elektrod. Takové vozidlo má pak o 50 % větší

dojezd, než s olověnými akumulátory o stejné hmotnosti. Nevýhodou je, že k dosažení plné kapacity baterie musí být cyklicky vybíjena (HROMÁDKO, 2012). Další nevýhodou je paměťový efekt, který vzniká při vybíjení na nízkou hodnotu vybití (TKOTZ A KOL., 2006).

Novější typ těchto baterií využívá technologie, kdy jsou kladné i záporné elektrody tvořeny deskami umělého vlákna a ve speciálních lázních poniklovány. Tím vznikne lehká a kompaktní elektroda, ve které je do kladné desky pastován hydroxid nikelný

a do záporné hydroxid kademnatý. Tento článek se pak vyznačuje vysokou proudovou zatížitelností, vysokým počtem cyklů (udává se až 3000) a životnosti až 25 let (HROMÁDKO, 2012).

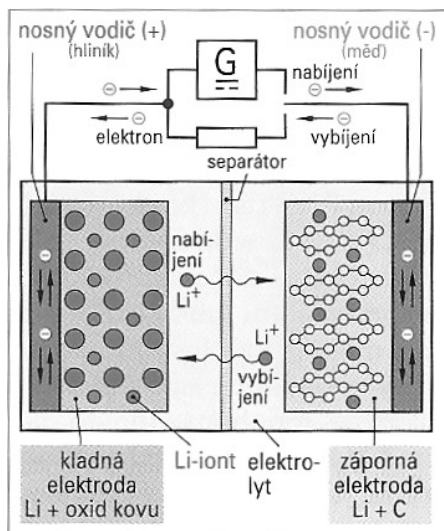
3.3.3 Baterie nikel-metalhydridová

Jde o článek s alkalickým elektrolytem. Zápornou elektrodu tvoří vícesložková slitina niklu, která absorbuje velké množství vodíku při nabíjení, se kterým poté tvoří kovové hydridy (TKOTZ A KOL., 2006). Anoda, tedy kladná elektroda, je založena na bázi sloučenin niklu. Napětí jednoho článku je 1,3 až 1,4 V (HROMÁDKO, 2012).

Hlavní předností těchto baterií je, že jsou ekologické a neškodné vůči prostředí. Mají také vyšší výkon a energetickou hustotu (KAMEŠ, 2004). TKOTZ A KOL. (2006) uvádějí, že baterie mají při srovnatelné velikosti o 40 % větší kapacitu než články NiCd a nemají paměťový efekt. Jsou ovšem dražší a citlivější na nabíjecí a vybíjecí režim. Životnost je poloviční oproti NiCd, tedy 5 let, 1 000 nabíjecích a vybíjecích cyklů a jejich recyklace na konci životnosti je nákladná. (VLK, 2004). Tyto baterie se využívají ve všech moderních elektrovozidlech (KAMEŠ, 2004).

3.3.4 Baterie lithium-iontová

Tyto baterie mají zápornou uhlíkovou elektrodu s lithiem a kladnou z kovového



Obr. 4: Lithiový iontový akumulátor (TKOTZ A KOL., 2006)

oxidu s podílem lithia. Elektrolyt je pevný, organicky alkalický a obsahuje soli Li (TKOTZ A KOL., 2006). Napětí článku je 3,6 až 3,7 V. Při nabíjení se ukládají ionty lithia do mřížky uhlíku katody a při vybíjení jsou opětovně uvolňovány.

Lithium-iontové baterie mají velkou energetickou výkonovou hustotu. Měrná energie je až 130 Wh/kg, životnost 1 000 cyklů a nemají paměťový efekt. Nevýhodou tohoto článku je závislost na teplotě, kdy kapacita klesá s teplotou, a také jeho relativně vysoká cena. Je to další druh

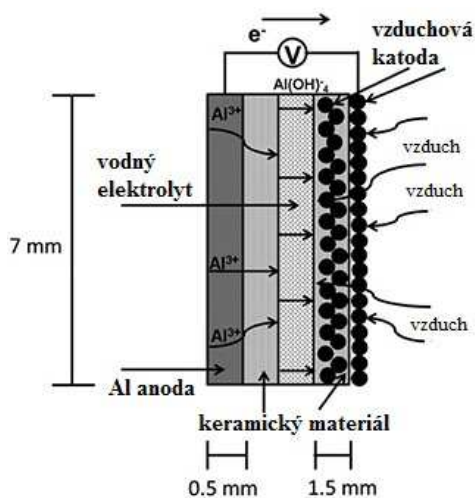
baterie, který je hojně využíván v současných elektromobilech (KAMEŠ, 2004).

3.3.5 Baterie lithium-polymerová

Anoda je vytvořena z lithiové a katoda z kovové folie se zakotveným organosulfidovým polymerem. Článek dosahuje napětí 1,8 až 3 V, hustota energie je vysoká (až 150 Wh/kg) a pracovní teplota v rozsahu 40 - 150 °C. Při rychlém nabíjení baterie lze dosáhnout nabíjecí účinnosti až 90 %. Nevýhodou však je, náchylnost baterie k poškození a polymer prudce reaguje se vzduchem. U těchto baterií také hrozí riziko výbuchu (VLK, 2004).

3.3.6 Baterie hliníko-vzduchová

Baterie pracuje na principu hliníkových plátů, ze kterých je elektrická energie získávána reakcí, při které se hliník za přítomnosti kyslíku a vody přeměňuje na oxid hlinitý (Aluminium). Jedná se o oxidaci, která probíhá u hliníku a je přirozeně zastavena, jakmile hliník pokryje celý povrch materiálu. Elektrolyt v těchto bateriích ovšem vrstvu hliníku neustále rozpouští a reakce tak může probíhat nadále. Do baterie se musí jen dolévat voda. Ovšem jakmile se chemickou reakcí rozpustí veškerý hliník,



Obr. 5: ALFA článek hliník-vzduch

Zdroj:

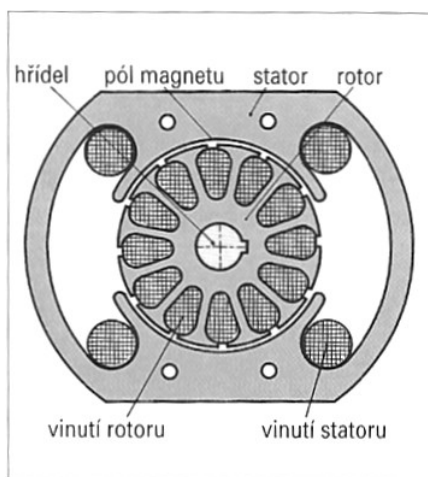
http://www.hybrid.cz/img/hlinik_vzduch_h_alfa_clanek.jpg

baterie se musí vyměnit. Znamená to tedy, že se zatím nedá dobíjet (VOKÁČ, 2014).

Hliníko-vzduchové baterie, které vyvíjí firma Phinergy, umožňují dojezd až 1 600 km (tedy větší dojezd než u konvenčních pohonů). Nevýhodou je, že se nedají využít jako hlavní zdroj energie, a to kvůli nemožnosti dobíjení, ale využívají se například v kombinaci s li-ion baterií. I přes nedostatky je vidět, že baterie kov-vzduch mají budoucnost a je jen otázkou času, kdy je bude možné nasadit do sériové výroby (KALOČ, 2004).

3.4 Elektromotory

K pohonu elektromobilů je možno použít velké škály elektromotorů k trakčnímu pohonu. Důležitými parametry trakčního elektromotoru jsou hodnota točivého momentu, spolehlivost konstrukce, kompaktní stavba, vysoká účinnost při malé hmotnosti, krátkodobá přetížitelnost, nízká hladina hluku, nízké udržovací náklady, výhodná cena a ve velkém rozsahu otáček musí být k dispozici dostatečný výkon (KAMEŠ, 2004).



Obr. 6: Princip konstrukce elektromotoru (TKOTZ A KOL., 2006)

3.4.1 Stejnoseměrné elektromotory

Stejnoseměrné elektromotory se vyznačují velkým rozběhovým momentem a umožňují stupňovité řízení otáček. Mohou se použít nezávisle na své konstrukci jako generátor, či jako motor (TKOTZ A KOL., 2006).

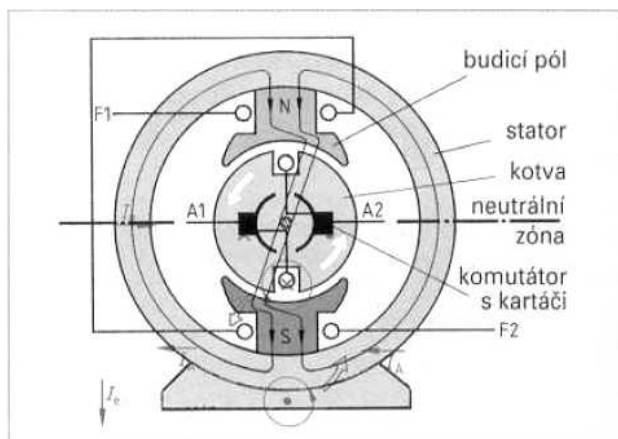
3.4.1.1 Stejnoseměrný motor se sériovým buzením

Budící vinutí motoru je zapojeno v sérii s vinutím kotvy, takže elektrický proud je současně budícím proudem. Tento motor má ze všech stejnosměrných motorů největší rozběhový moment a je snadno regulovatelný (TKOTZ A KOL., 2006).

Při odlehčení vstupní hřídele vzrostou otáčky motoru natolik, že hrozí jeho přetočení, a proto nikdy nesmí pracovat bez zátěžového momentu. Schopností motoru je rozebíhat velké hmoty a samočinně přizpůsobovat otáčky zatížení. Je tudíž vhodným pohonem pro elektromobily (VLK, 2004).

3.4.1.2 Stejnoseměrný motor s cizím buzením

Napájení budicího vinutí je realizováno vnějším zdrojem stejnosměrného napětí a není spojeno s budícím vnutím motoru (TKOTZ A KOL., 2006). Tento motor má jednoduchou regulaci otáček v širokém rozsahu a plynulý přechod z jízdy na brzdění.



Obr. 7: Stejnoseměrný motor s cizím buzením - běh doleva (TKOTZ A KOL., 2006)

Jsou vhodné do elektromobilů, protože mohou být napájeny přímo z baterie (KAMEŠ, 2004). Motor může být silně přetížen, a to po dobu 1 hodiny o 20 % nad trvalým výkonem. Nedostatkem jsou vysoké náklady na izolaci a akumulátor. Hraniční otáčky jsou $7\,000\text{ min}^{-1}$ a je zapotřebí použít víceúrovňovou převodovku (VLK, 2004).

3.4.1.3 Stejnoseměrný motor s derivačním buzením

Budicí vinutí je zapojeno paralelně k vinutí kotvy. Tento motor se při běhu na prázdno nepřetočí a při zatížení má jen malý pokles otáček. Je třeba zajistit, aby nedošlo k odpojení buzení, jinak hrozí roztočení kotvy do příliš vysokých otáček (TKOTZ A KOL., 2006). Lze jej jednoduše a plynule regulovat, avšak v menším rozsahu než stejnosměrný elektromotor s cizím buzením. Také se tyto motory jednoduše brzdí (VLK, 2004).

3.4.1.4 Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením

Budicí napětí vinutí je zapojeno smíšeně, a to tak, že jedno vnutí je zapojeno sériově a druhé paralelně ke kotvě. Sériové vinutí je zapojeno magneticky souhlasně s derivačním vinutím a při zatížení motoru způsobuje snížení otáček a zvýšení točivého momentu.

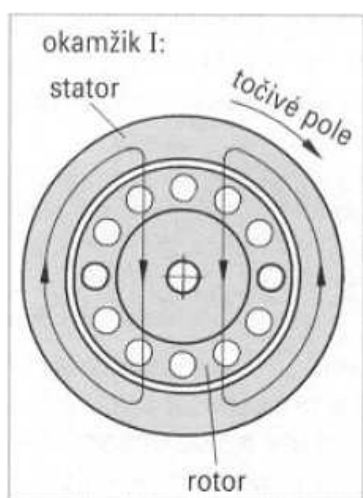
Derivační vinutí omezuje otáčky na prázdno. Podle toho, které buzení převládá, tvoří tento motor přechod mezi sériovým a derivačním elektromotorem (VLK, 2004).

3.4.2 Střídavé elektromotory

K rotoru u střídavých motorů nemusí být většinou přiveden žádný proud, protože je vybuzen rotujícím magnetickým polem. Díky indukovanému proudu síly magnetického pole působí na kotvu (rotor), která se otáčí. Podle toho, zda se motor otáčí asynchronně nebo synchronně s točícím polem, rozlišujeme motory asynchronní a synchronní (KAMEŠ, 2004).

3.4.2.1 Asynchronní motor

U asynchronního motoru je v rotoru umístěno rotorové vinutí. Působením točivého pole statoru se indukuje magnetické pole v rotoru a způsobuje točivý moment. Ovšem



Obr. 8: Asynchronní motor - indukční působení točivého pole na nehybný rotor (TKOTZ A KOL., 2006)

dochází zde ke skluzu otáček, aby se dostatečně naindukoval proud v rotoru. Skluz otáček je závislý na zatížení výstupní hřídele (TKOTZ A KOL., 2006).

Výhodou oproti stejnosměrnému elektromotoru je, že při stejném výkonu dosahuje menších rozměrů a hmotnosti. Také má jednodušší konstrukci, je robustnější, bezúdržbový a silně přetížitelný.

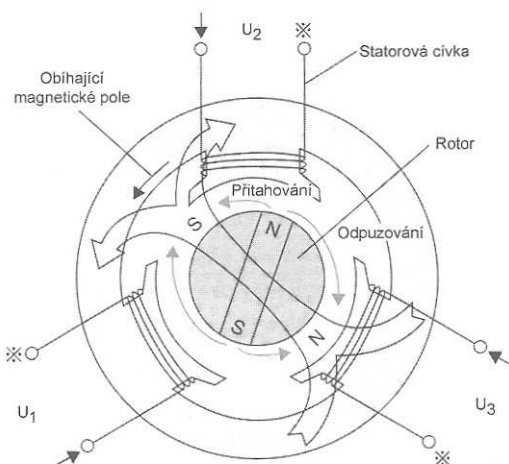
Ovšem při využití v elektromobilech se musí stejnosměrný proud z akumulátoru přeměnit na střídavý. Přeměnu proudu zajišťuje cyklicky zapínaný tyristor, který mění pravoúhlý průběh na sinusový.

K regulaci tahové síly a otáček motoru je zapotřebí proměnné frekvence a proudu. K tomu je potřeba výkonný obvod, který je finančně nákladný. S vysokou účinností lze uskutečnit zpětné získání energie (VLK, 2004).

3.4.2.2 Synchronní motor

Stator má stejnou konstrukci jako u asynchronního motoru. V rotoru je budící vynutí nebo permanentní magnet. Rotor působí jako elektromagnet a má stejný počet pólů jako stator. Díky tomu má tento motor při zatížení stejné otáčky jako točivé pole statoru. Na rozdíl od asynchronního motoru zde nevzniká žádný otáčkový skluz

(TKOTZ A KOL., 2006).



Obr. 9: Synchronní motor s permanentním buzením (KAMEŠ, 2004)

Motor se vyznačuje velmi malou objemovou zástavbou a vysokou účinností. K regulaci je zapotřebí použít buď vícenásobný regulátor výkonu baterií, nebo víceúrovňové převodovky. U tohoto typu motoru však nelze dosáhnout takového rozsahu otáček jako u asynchronního motoru, proto vyžaduje pro hospodárny provoz nejméně dvoustupňový převod (VLK, 2004).

3.4.2.3 Řízený reluktanční motor

Jde o zvláštní tvar střídavého motoru. Reluktanční motor je založen na technice reluktančních krokových motorů. Rotor se skládá z měkkého železa a má pólové nástavce ve tvaru ozubeného kola. Není zde budící vinutí. Regulace otáček a točivého momentu je řízena výkonovou elektronikou. Motor se rozeběhá asynchronně a poté běží synchronně. Reluktance je pojem, který představuje magnetický odpor rotoru v magnetickém poli.

Motor nabízí vysoké zrychlení, vysoký točivý moment při nízkých otáčkách, robustní konstrukci, vysokou přetížitelnost, vysokou účinnost a výhodnou cenu. Nevýhodou je, že točivý moment není rovnoměrný a motor je hlučnější (KAMEŠ, 2004).

3.5 Nabíjení elektromobilů

Pro elektromobily není důležitý jen dojezd na jedno dobití baterie, ale také délka nabíjení. Tato doba je důležitá především z hlediska každodenního využití. Čas dobíjení se pohybuje od 1 hodiny do 8 hodin. Záleží na technologii použité automobilkou a na typu nabíjecího zařízení.

Nejdostupnější dobíjení je z domácí sítě. Zde čerpáme takzvaný střídavý proud. Výkon dobíjení je relativně malý (do 2,4 kW), a proto plné nabití baterií může trvat až zmiňovaných 8 hodin. Jedná se o takzvané palubní nabíječky, které jsou umístěny přímo v elektromobilu. Mění střídavý proud na stejnosměrný a dobíjí baterie. Do garáže je však možno si pořídit box na rychlé dobíjení, který umí pracovat až s 22 kW, a tedy



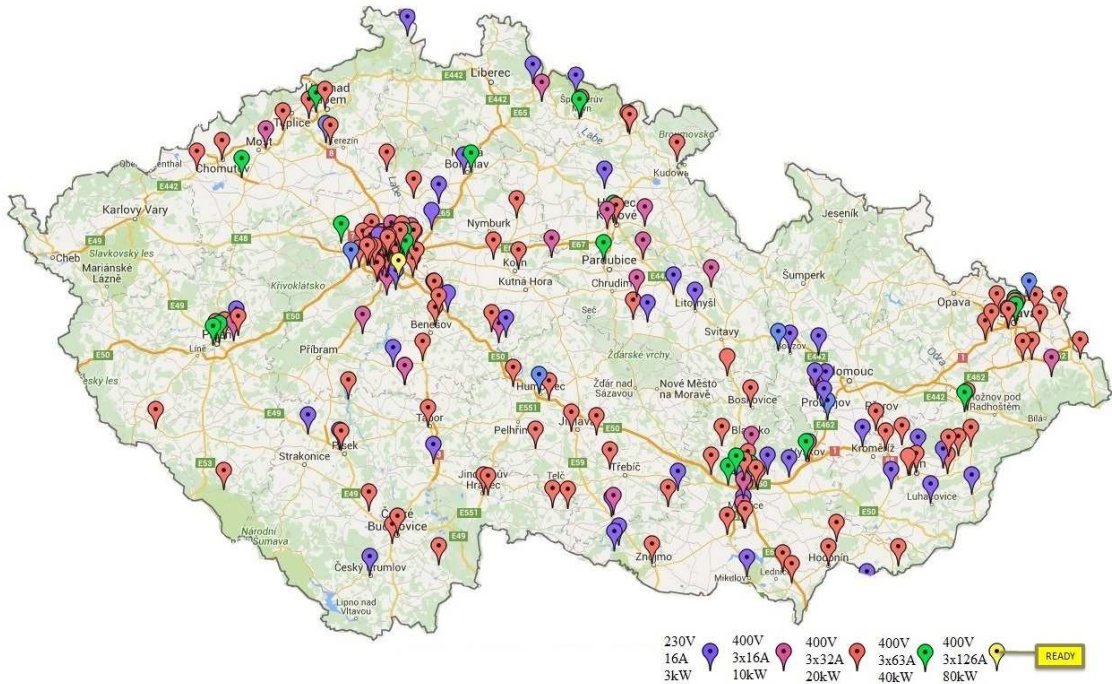
*Obr. 10: Dobíjecí stanice 400V/32 A - 230V/16A v parkovacích garážích u Janáčkova divadla v Brně
Zdroj: PAVEL ŠVÉDA*

ale dražší (BURKOVIČ, 2014).

i s téměř desetinásobnou rychlostí. Ovšem tento box je další finanční výdaj pro uživatele elektromobilu. Cena se pohybuje v řádu desetitisíců (PREJZEK, 2015).

Výhodou střídavého proudu je jeho distribuce, protože se s ním setkáme u každého sloupu s rozvodem elektrické energie. Tím je možnost vytvořit hustou síť dobíjecích stanic.

Rychlejší typ dobíjení je dobíjení stejnosměrným proudem. Nabíječky s ním pracující dosahují výkonu až 50 kW a jedná se o rychlonabíječky. Avšak vybudování této stanice je finančně náročné a pro soukromé účely zatím ekonomicky nevýhodné. Nabíjení u těchto stanic je sice rychlejší,



Obr. 11: Mapa dobíjecích stanic v ČR

Zdroj: <http://www.asep.cz/interaktivni-mapa-dobijecich-panic>

| | 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. 12: Přehled dobíjecích konektorů

Zdroj: http://www.hybrid.cz/i/auto/elektromobil/021_prehled_zasuvek_dle_norem.jpg

3.6 Budoucnost elektromobilů

S nedostatkem ropy stoupá také poptávka po alternativních pohonech. Elektřina je jedním z pohonů, který začal velmi slibně působit v hybridních vozech, kdy elektrický pohon doplňuje spalovací motor.

Proto vznikly nové modely, které začaly používat čistě elektrický pohon. Jednou ze společností, o které je v současnosti velmi slyšet, je automobilka Tesla. Model Tesla S ukázal, jakým směrem by se elektromobily měly ubírat.

Automobilky BMW, Toyota a Nissan se spojily na společných projektech. Jde o velmi rozsáhlou spolupráci na nových modelech. Mezi jejich další projekty patří například síť rychlonabíječek, které plánují rozmístit po USA (HOUBA, 2015).

Podle japonské automobilky Nissan je budoucnost v malých elektromobilech, které umožní jízdu ve velkoměstech i tam, kam normální vozidla nemohou. Aktuálním trendem je také vývoj automaticky řízených vozů. Do těchto projektů se zapojují společnosti jako je např. Google (BUREŠ, 2013).

3.7 Zhodnocení elektrického pohonu

Výhodou elektromobilů je, že nepotřebují více stupňové převodovky. Stačí pouze jeden pevný převod, protože elektromotor má vysoký rozběhový moment, a také konstantní výkon v širokém rozsahu otáček. Dále také minimální hlučnost vozidla a nulové emise.

Největší slabinou elektrického pohonu jsou však baterie, které mají omezenou kapacitu, a tím i dojezdovou vzdálenost, která je vhodná pro provoz v městských oblastech. Také pořizovací cena elektrovozidla je asi o 40 % vyšší, než u vozidel se spalovacím motorem (KAMEŠ, 2004).

4 VOZIDLA S HYBRIDNÍM POHONEM

Jsou to vozidla, která kombinují několik zdrojů energie pro pohon. Může to být spalovací motor, elektromotor a akumulátor. Druhou variantou je palivový článek, spalovací motor a akumulátor, či spalovací motor a setrvačnick. (HROMÁDKO, 2012).

Nejpoužívanější kombinací je spalovací motor, elektromotor a baterie. Vůz v městském provozu může používat čistě elektrický pohon bez emisí a mimo město umožňuje dobrý jízdní výkon a dojezd. Elektrický motor také pracuje ve dvou režimech. Buď pracuje jako motor, kdy převádí elektrickou energii z baterie na energii mechanickou, nebo může pracovat jako generátor, kdy naopak převádí mechanickou energii zpět na elektrickou a dobíjí tak akumulátory v okamžiku, kdy vozidlo brzdí (VLK, 2004).

4.1 Historie

Hybridní pohon se objevil již v roce 1898 ve voze pojmenovaném Mixte, který vytvořil Ferdinand Porche ve spolupráci s továrnou Lohner. Tento vůz byl poháněn elektromotorem a o dobíjení baterií se staralo dynamo, které bylo roztáčeno elektromotorem. Avšak kvůli zlevňování ropy a úspěšnému modelu Ford T, byly vytlačeny alternativní pohony v automobilech na dlouhou dobu z trhu.

Teprve až v roce 1997 předvedla automobilka Toyota svůj vůz s hybridním pohonem - Prius. Nejprve se Prius objevil jen v Japonsku, ale po velkém úspěchu byl rozšířen i na ostatní světové trhy. To byl impuls pro ostatní výrobce automobilů. V posledních letech již téměř všechny světové automobilky nabízí hybridní verze svých automobilů (JIRKA, 2015).

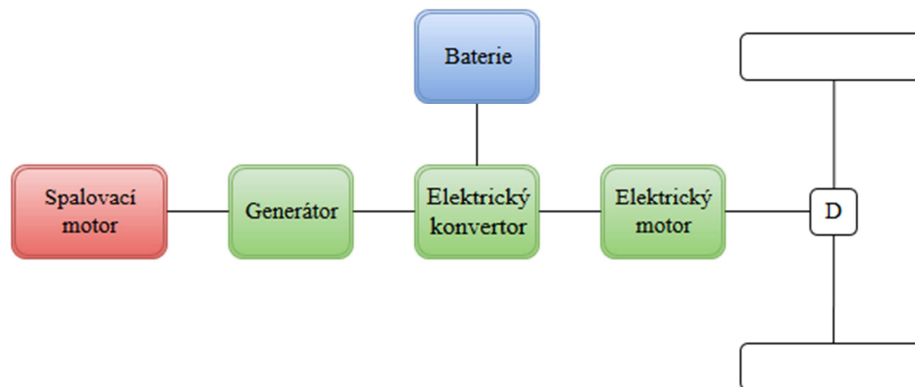
4.2 Uspořádání ústrojí hybridního pohonu

Uspořádání hnacího ústrojí u hybridních vozidel můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na sériové a paralelní uspořádání. Paralelní uspořádání je vhodnější pro provoz s minimálními emisemi (KAMEŠ, 2004).

4.2.1 Sériové uspořádání

V sériovém uspořádání je vozidlo poháněno pouze elektromotorem. Díky dobré charakteristice točivého momentu a rozsahu otáček nepotřebuje převodovku. Spalovací motor pohání generátor a vzniklým elektrickým proudem je poháněn trakční motor, nebo se jím dobíjí baterie (HROMÁDKO, 2012).

Spalovací motor je možné provozovat v konstantních otáčkách v optimálním režimu provozu. Tím odpadají nevhodné režimy pracovní charakteristiky a motor je provozován v optimálním pracovním rozsahu s nejvyšší účinností (VLK, 2004).



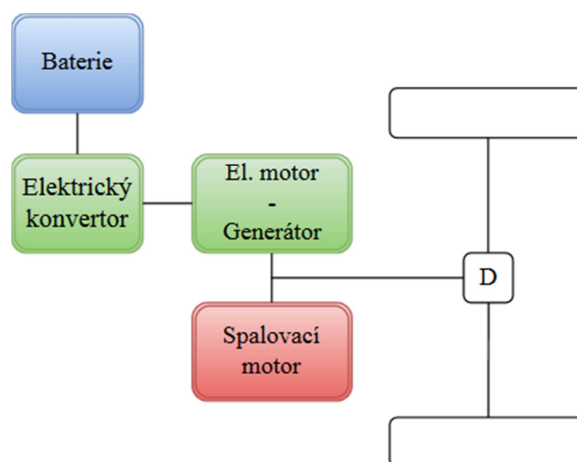
Obr. 13: Sériové uspořádání hybridního pohonu

Zdroj: <http://img.auto.cz/blog/blogs.dir/18/files/2008/09/10197.jpg>

4.2.2 Paralelní uspořádání

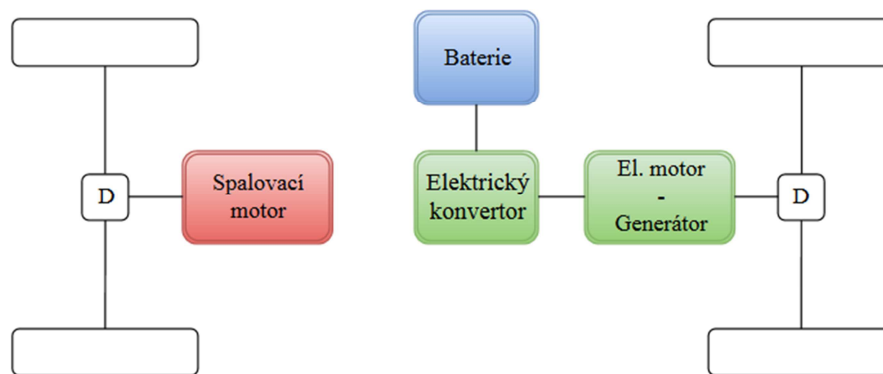
Paralelní uspořádání je u většiny prodávaných hybridních vozů. Spalovací motor a elektromotor jsou propojeny převodovkou s koly vozidla. Elektromotor (generátor) je umístěn mezi spalovacím motorem a převodovkou (HROMÁDKO, 2012).

Maximální otáčky elektromotoru a spalovacího motoru jsou sjednoceny. Při sepnutí obou hnacích zdrojů je možno při nízkých otáčkách spalovacího motoru zvýšit tažnou sílu, která krátkodobě zvýší požadovaný špičkový výkon. Paralelní řešení také umožňuje jízdu čistě na elektřinu, nebo spalovací motor (KAMEŠ, 2004). Dalším řešením je pohánění každé nápravy jiným druhem pohonu. To znamená pohon všech kol bez mechanického spojení náprav (JIRKA, 2015).



Obr. 14: Paralelní uspořádání hybridního pohonu

Zdroj: <http://img.auto.cz/blog/blogs.dir/18/files/2008/09/10203.jpg>



Obr. 15: Paralelní uspořádání hybridního pohonu všech kol

Zdroj: <http://img.auto.cz/blog/blogs.dir/18/files/2008/09/10200.jpg>

4.3 Dělení hybridních vozidel

4.3.1 Full hybrid

Full hybrid je označení pro hybridní vozidla, která jsou schopna jízdy pouze na elektrický pohon, nebo mohou kombinovat jak spalovací, tak elektrický motor. Jsou tedy vybavena děličem výkonu. Spalovací motor nemusí mít takový zdvihový objem (menší rozměry) a nemá tak hlavní postavení pohonu. Díky doplnění o elektromotor má srovnatelné výkonnostní parametry jako vozidlo s konvenčním pohonem (HROMÁDKO, 2012).

4.3.2 Plug-in hybrid

Staví na principu full hybridu. Avšak u plug-in hybridu je možno dobíjet baterie přímo ze sítě a nespolehat se jen na dobíjení spalovacím motorem, či rekuperací. Tato vozidla jsou pak schopna urazit větší vzdálenost čistě na elektrický pohon.

Automobilky se nejvíce zaměřují na výrobu plug-in hybridů kvůli svým lepším vlastnostem elektrického pohonu (JIRKA, 2015).

4.3.3 Power assist hybrid

Primární pohonou jednotkou je spalovací motor. Elektromotor se připojuje jen v případě potřeby vyšší akcelerace (electric boost). Elektromotor je umístěný mezi převodovkou a motorem a může při jízdě z kopce, či brzdění vozu, dobíjet akumulátory. Kvůli malému výkonu elektromotoru není čistě elektrická jízda možná (HROMÁDKO, 2012).

4.3.4 Mild hybrid

Jedná se dnes už o naprosto běžný stop-start systém. Ten vypíná vozidlo těsně před zastavením a je spojen s kondenzátorem, který následně pomáhá se startem spalovacího motoru (JIRKA, 2015). Automobilka BMW využívá naopak vypnutí alternátoru při plném zatížení motoru, při nižším zatížení generátor dobíjí baterie (HROMÁDKO, 2012).

4.3.5 Diesel hybrid

Většina hybridních vozů využívá zážehový motor. To především kvůli cílení trhu v USA či Japonsku, kde se těší velké oblibě. V Evropě došlo k rozvoji nabídky hybridních vozů se vznětovým motorem, které jsou zde mnohem populárnější. Výhodou je nižší spotřeba těchto motorů (JIRKA, 2015).

4.4 Zásobníky energie

Pro spalovací motor využíváme energie uložené ve formě benzínového nebo naftového paliva. Mezi zásobníky elektrické energie řadíme především baterie. Dalšími zásobníky mohou být vysokoenergetické kondenzátory nebo setrvačnick. V setrvačnicku lze nahromaděnou mechanickou energii přeměnit přes generátor na energii elektrickou (HROMÁDKO, 2012).

4.4.1 Baterie

Hybridní vozidla využívají stejné typy baterií jako elektromobily. Baterie jsou zde více namáhány častějším nabíjením a vybíjením, a to pouze částečným. Také se musí zohlednit koncepce hybridního vozu. Pro vyšší výkon se využívají nikl-kadmiová nebo nikl-metalhydridová baterie. Pro delší dojezd se využívají baterie o vysoké energetické hustotě (KAMEŠ, 2004).

4.4.2 Vysokoenergetický kondenzátor

Tato elektronická součástka dokáže akumulovat elektrickou energii přímo. Ostatní typy akumulátorů uchovávají energii v mechanické, chemické nebo magnetické formě. To znamená, že se energie musí před akumulací transformovat, a tím dochází ke ztrátám. Kondenzátor je z tohoto hlediska nejvýhodnější (HROMÁDKO, 2012).

Tzv. superkondenzátor dosahuje kapacity až 10 000 faradů. Elektrody jsou z porézního uhlíku a mezi nimi je tekutý nebo gelový elektrolyt. Porézní uhlík má velmi

nízký odpor elektrod, a tím zaručuje velmi rychlé nabíjení a vybíjení kondenzátoru. Typické napětí jednoho článku je 2,3 V (KAMEŠ, 2004).

4.4.3 Mechanický akumulátor energie

Mechanický zásobník energie je setrvačnick, který v sobě uchovává kinetickou energii v případě brzdění. Později je tato energie použita pro další jízdu vozidla.

Setrvačnick je zejména deskovité rotační těleso sestavené z pevnostní oceli legované vysokohodnotným titanem, z důvodů velkých sil, které na něj působí. Velký požadavek je také na ložiska. Použitím magnetických ložisek bez otěru je možno zvýšit výkonovou hustotu až o 30 %. Zásobní kapacita závisí na maximálních otáčkách a rozložení hmoty setrvačnicku (HROMÁDKO, 2012).

Volvo testuje tzv. systém KERS (Kinetic Energy Recovery System), který by měl snížit spotřebu paliva až o 25 %. Jejich setrvačnick váží pouze 6 kg.

Tento systém již funguje v několika trolejbusích ve Švýcarsku. Systém je velmi vhodný pro vozidla s častým zastavováním a rozjížděním. A to jsou vozidla hromadné dopravy či komunálního svazu odpadu (JIRKA, 2015).

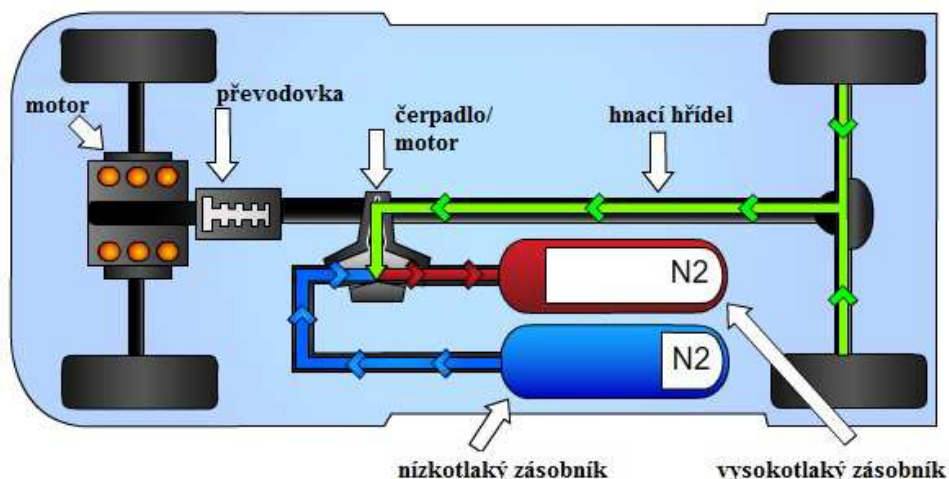
Výhodou oproti bateriím je, že setrvačnick pracuje bez opotřebení, bez chemikálií a má vysokou životnost (HROMÁDKO, 2012).

4.4.4 Hydrostatický akumulátor energie

Princip funkce je takový, že při brzdění se tlaková energie ukládá do hydrostatických akumulátorů přes hydrogenerátor. Při rozjezdu se využije energetická zásoba uložená v akumulátorech a pomáhá k rozjezdu vozidla. Dochází tak k úspoře paliva.

Výhodou tohoto systému je neomezený počet cyklů, menší opotřebení brzdových destiček a zástavba do vozidla s kterýmkoliv typem paliva. Nevýhodou je hmotnost systému a velikost hydraulických akumulátorů. To je nežádoucí, protože všechny automobilky se snaží své vozy odlehčovat.

Využití tohoto systému nalezneme v dodávkové, nákladní nebo hromadné dopravě. Velké uplatnění má u vozů svazu odpadu. Tuto rekuperaci také využívá v USA například zásilková společnost USP (JIRKA, 2015).

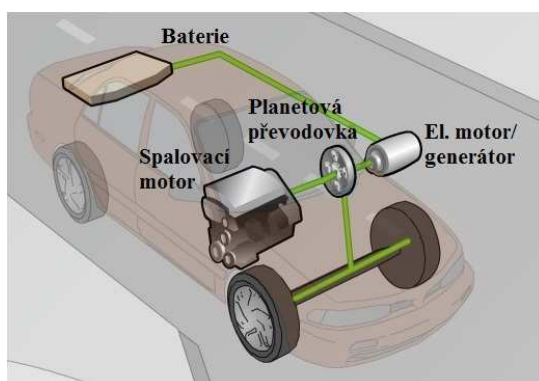


Obr. 16: Schéma hydrostatické rekuperace při brzdění

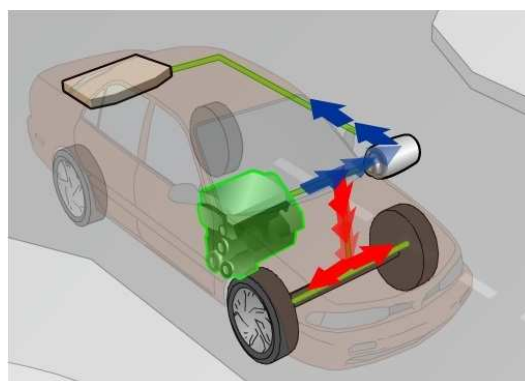
Zdroj: <https://archive.epa.gov/otaq/technology/web/html/how-it-works-parallel.html>

4.5 Princip činnosti hybridního pohonu

Nejčastější uspořádání používané u hybridních automobilů je paralelní. Pro pohon vozu se používá spalovací motor. Při běžné jízdě je část jeho energie ukládána přes generátor do baterií ve formě elektrické energie a větší část jde na nápravu pro pohon vozidla (obr. 18: Běžná jízda). Při předjíždění, a tedy při nutnosti vyššího výkonu se zapojí elektromotor k pohonu nápravy přes převodovku a zvýší momentální výkon vozidla potřebný k bezpečnému předjetí (obr. 19: Předjíždění (výkonová špička)). Při brzdění se naopak kinetická energie využije k přeměně na elektrickou energii (obr. 20: Brzdění) (HROMÁDKO, 2012).

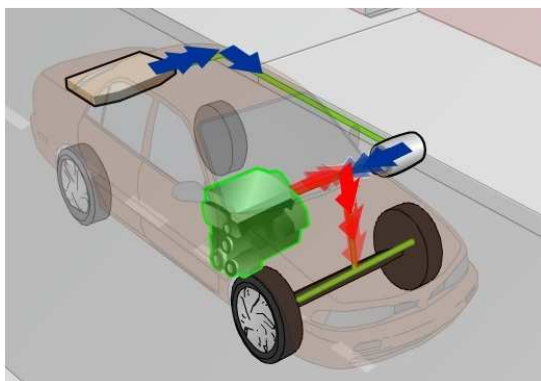


Obr. 17: Uspořádání komponentů vozidla

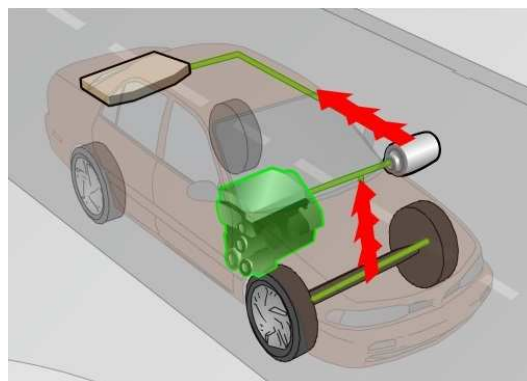


Obr. 18: Běžná jízda

Zdroj: <http://www.fueleconomy.gov/feg/hybridtech.shtml>



Obr. 19: Předjíždění (výkonová špička)



Obr. 20: Brzdění

Zdroj: <http://www.fueleconomy.gov/feg/hybridtech.shtml>

4.6 Budoucnost hybridních vozidel

Elektrický pohon v automobilech má svojí budoucnost. Spalovací motor však zůstává hlavním článkem při pohonu automobilů díky svým výhodám. Odborníci hovoří o tom, že spalovací motor bude mít důležitou úlohu i v následujících desetiletích. Společnost Bosch předpovídá, že již v roce 2020 bude vyrobeno 9,5 milionu vozů s hybridním pohonem a v roce 2025 bude mít alespoň 15 % celosvětově vyrobených vozů tento pohon.

Hybridní technologie se také používá u sportovních vozů. Příkladem je značka Porsche, která vstoupila na trh s modely Cayenne S E-Hybrid a 918 Spyder. Proto už nyní můžeme vidět hybridní závodní automobily, které jezdí v závodech Le Mans. Je tedy otázkou času, kdy vzniknou samostatné závody s hybridními vozy (SVOBODA, 2015).

4.7 Zhodnocení hybridního pohonu

Výhodou hybridního pohonu je kombinace spalovacího a elektrického motoru. Díky tomuto spojení se snižuje spotřeba paliva, produkce škodlivých emisí a hluku. Vzájemným doplňováním obou motorů dokáže vozidlo dosáhnout v krátkém časovém úseku vyššího výkonu. Další výhodou je nabíjení baterií za jízdy a nebo z elektrické sítě v případě plug-in hybridu. Hybridní vozidla díky spalovacímu motoru nejsou závislá pouze na bateriích a jejich malé infrastruktuře.

Použitím dvou pohonných jednotek a baterií se však zvyšuje hmotnost a zastavěný objem vozidla, a tím se zmenšuje zavazadlový prostor. Pořizovací náklady jsou vyšší ve srovnání s ostatními typy pohonů. Hybridní vozidla využívají složité technické vybavení a s tím je spojena i vyšší poruchovost (KAMEŠ, 2004).

5 TECHNICKE PARAMETRY VYBRANÝCH VOZIDEL

Elektromobily a hybridní vozidla se po českých silnicích již běžně pohybují. V kapitole technické parametry vybraných vozidel jsou uvedeny příklady automobilů, které jsou dostupné na českém trhu.

5.1 Elektromobily

5.1.1 Nissan LEAF

Tab. 1: Technické parametry Nissan LEAF (baterie 24 kWh)

| | | |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 730 000 | |
| Motor | | |
| Typ elektromotoru | synchronní, napájený střídavým proudem | |
| Max. výkon [kW (k)/min ⁻¹] | 80 (109)/3 008 - 10 000 | |
| Max. točivý moment [Nm/min ⁻¹] | 254/0 - 3 008 | |
| Baterie | | |
| Typ baterie | laminovaná lithium-iontová, 48 modulů | |
| Napětí [V] | 360 | |
| Kapacita [kWh] | 24 | |
| Systém nabíjení | Výkon | Doba nabíjení |
| Rychlonabíječka | 50 kW | 30 minut (nabití na 80 %) |
| Palubní nabíječka | 3,6 kW | 8 hodin |
| Ostatní parametry | | |
| Spotřeba elektrické energie [Wh/km] | 150 | |
| Dojezd [km] | 199 | |
| Max. rychlost [km/h] | 144 | |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 11,5 | |
| Emise [g/km] | 0 | |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 474 | |

Zdroj: <http://www.nissan.cz/CZ/cs/tool/brochure/ebrochure.html>



Obr. 21: Nissan LEAF

Zdroj: <http://www.nissan.cz/CZ/cs/tool/brochure/ebrochure.html>

5.1.2 Peugeot iOn

Tab. 2: Technické parametry Peugeot iOn

| | | |
|--------------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 717 288 | |
| Motor | | |
| Typ elektromotoru | synchronním s permanentním magnetem | |
| Max. výkon [kW (k)/min ⁻¹] | 47 (64)/ 3 500 - 8 000 | |
| Max. točivý moment [Nm/min ⁻¹] | 180/2 000 | |
| Baterie | | |
| Typ baterie | lithium-iontová, 88 článků | |
| Napětí článku [V] | 3,75 | |
| Kapacita [kWh] | 15,2 | |
| Systém nabíjení | | |
| | Typ | Doba nabíjení |
| Rychlonabíječka | 400 V/125 A | 30 minut (nabití na 80 %) |
| Palubní nabíječka | 230 V/16 A | 6 hodin |
| Ostatní parametry | | |
| Spotřeba elektrické energie [Wh/km] | 135 | |
| Dojezd [km] | 150 | |
| Max. rychlost [km/h] | 130 | |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 15,9 | |
| Emise [g/km] | 0 | |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 195 | |

Zdroj: <http://www.peugeot.cz/katalogy/ion/5-dverovy/>



Obr. 22: Peugeot iOn

Zdroj: <http://www.peugeot.cz/katalogy/ion/5-dverovy/>

5.1.3 Kia Soul EV

Tab. 3: Technické parametry Kia Soul EV

| | | |
|--------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 849 980 | |
| Motor | | |
| Typ elektromotoru | synchronním AC motor | |
| Max. výkon [kW (k)/min ⁻¹] | 81,4 (110)/2 730 - 8 000 | |
| Max. točivý moment [Nm/min ⁻¹] | 285/0-2 730 | |
| Baterie | | |
| Typ baterie | lithium-iontová polymerová | |
| Kapacita [kWh] | 27 | |
| Systém nabíjení | Výkon | Doba nabíjení |
| Rychlonabíječka | 50 kW | 33 minut (nabití na 80 %) |
| Palubní nabíječka | 6,6 kW | 5 hodin |
| Ostatní parametry | | |
| Spotřeba elektrické energie [Wh/km] | 147 | |
| Dojezd [km] | 200 | |
| Max. rychlost [km/h] | 145 | |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 11,2 | |
| Emise [g/km] | 0 | |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 490 | |

Zdroj: http://www.kia.com/cz/kampane/soul_ev/



Obr. 23: Kia Soul EV

Zdroj: http://www.kia.com/cz/kampane/soul_ev/

5.1.4 BMW i3 BEV

Tab. 4: Technické parametry BMW i3 BEV

| | | |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 936 000 | |
| Motor | | |
| Typ elektromotoru | synchronní elektromotor | |
| Max. výkon [kW (k)] | 125 (170) | |
| Max. točivý moment [Nm] | 250 | |
| Baterie | | |
| Typ baterie | lithium-iontová | |
| Kapacita [kWh] | 18,8 | |
| Systém nabíjení | Nab. proud | Doba nabíjení |
| Rychlonabíječka | 125 A | 30 minut (nabití na 80 %) |
| Palubní nabíječka | 16 A | 5-8 hodin (nabití na 80 %) |
| Ostatní parametry | | |
| Spotřeba elektrické energie [Wh/km] | 129 | |
| Dojezd [km] | 190 | |
| Max. rychlost [km/h] | 160 | |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 7,2 | |
| Emise [g/km] | 0 | |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 195 | |

Zdroj: <http://www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2013/technicaldata.html#tab-0>



Obr. 24: BMW i3

Zdroj: <http://o.aolcdn.com/commerce/autodata/images/USC40BMC601B021001.jpg>

5.1.5 Mercedes-Benz B Electric Drive

Tab. 5: Technické parametry Mercedes-Benz B Electric Drive

| | | |
|----------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 1 020 000 | |
| Motor | | |
| Typ elektromotoru | asynchronní motor | |
| Max. výkon [kW (k)/min ⁻¹] | 132 (180)/9 900 - 12 500 | |
| Max. točivý moment [Nm] | 340 | |
| Baterie | | |
| Typ baterie | lithium-iontová | |
| Kapacita [kWh] | 28 | |
| Systém nabíjení | Typ | Doba nabíjení |
| Rychlonabíječka | 400 V/16 A | 2,4 hodiny |
| Palubní nabíječka | 230 V/13 A | 9 hodin |
| Ostatní parametry | | |
| Spotřeba elektrické energie [Wh/km] | 166 | |
| Dojezd [km] | 200 | |
| Max. rychlost [km/h] | 160 | |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 7,9 | |
| Emise [g/km] | 0 | |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 725 | |

Zdroj: http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc_czechia_website/czng/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/b-class/w242/facts/technicaldata/model.html



Obr. 25: Mercedes-Benz B Electric Drive

Zdroj: http://www.mercedes-benz.cz/content/czechia/mpc/mpc_czechia_website/czng/home_mpc/passengercars/home/new_cars/models/b-class/w242/facts/design.html

5.2 Hybridní vozy

5.2.1 Toyota Auris ACTIVE

Tab. 6: Technické parametry Toyota Auris ACTIVE

| | |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 544 900 |
| Pohonné ústrojí | |
| Spalovací motor | řadový zážeh., 16 ventilů DOHC VVT-i |
| Objem spalovacího motoru [l (cm ³)] | 1,8 (1 798) |
| Výkon spalovacího motoru [kW (k)/min ⁻¹] | 73 (99)/5 200 |
| Max. točivý [Nm/min ⁻¹] | 142/4 000 |
| Elektromotor | synchronní motor s permanent. magnetem |
| Max. výkon [kW (k)] | 60 (82) |
| Max. točivý moment [Nm] | 207 |
| Maximální výkon systému [kW (k)] | 100 (136) |
| Převodovka | elektronicky řízená převodovka s plynule proměnným převodem (e-CVT) |
| Emisní norma | Euro 6 |
| Baterie | |
| Typ baterie | nikl-metal hydrid |
| Napětí [V] | 650 |
| Spotřeba | |
| Kombinovaná [l/100 km] | 3,5 |
| Ostatní parametry | |
| Max. rychlost [km/h] | 180 |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 10,9 |
| Emise kombinace [g/km] | 79 |
| Objem palivové nádrže [l] | 45 |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 435 |

Zdroj: <https://www.toyota.cz/new-cars/auris/index.json>



Obr. 26: Toyota Auris ACTIVE Hybrid

Zdroj: <https://www.toyota.cz/new-cars/auris/index.json>

5.2.2 Lexus CT200h Eco

Tab. 7: Technické parametry Lexus CT200h Eco

| | |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 629 000 |
| Pohonné ústrojí | |
| Spalovací motor | řadový zážehový |
| Objem spalovacího motoru [l (cm ³)] | 1,8 (1798) |
| Výkon spalovacího motoru [kW (k)/min ⁻¹] | 73 (99)/5 200 |
| Max. točivý [Nm/min ⁻¹] | 142/2 800 - 4 400 |
| Elektromotor | AC, synchronní, permanentní magnet |
| Max. výkon [kW (k)/min ⁻¹] | 100 (136)/5 200 |
| Max. točivý moment [Nm/min ⁻¹] | - |
| Maximální výkon systému [kW (k)] | 100 (136) |
| Převodovka | elektronicky řízená převodovka s plynule proměnným převodem (e-CVT) |
| Emisní norma | Euro 6 |
| Baterie | |
| Typ baterie | nikl-metal hydrid |
| Napětí [V] | 202 |
| Spotřeba | |
| Kombinovaná [l/100 km] | 3,6 |
| Ostatní parametry | |
| Max. rychlost [km/h] | 180 |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 10,3 |
| Emise kombinace [g/km] | 82 |
| Objem palivové nádrže [l] | 45 |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 790 |

Zdroj: <http://www.lexus.cz/car-models/ct/ct-200h/#PricesAndSpecifications>



Obr. 27: Lexus CT200h Eco

Zdroj: <http://www.lexus.cz/car-models/ct/ct-200h/#PricesAndSpecifications>

5.2.3 Volvo V60 PHEV

Tab. 8: Technické parametry Volvo V60 PHEV

| | |
|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 1 513 600 |
| Pohonné ústrojí | |
| Spalovací motor | řadový pětiválec, Common rail, vznětový |
| Objem spalovacího motoru [l] | 2,4 |
| Výkon spalovacího motoru [kW (k)/min ⁻¹] | 162 (220)/4 000 |
| Max. točivý [Nm/min ⁻¹] | 440/1 500 - 3 000 |
| Elektromotor | elektromotor |
| Max. výkon [kW (k)/min ⁻¹] | 50 (68)/2 400 |
| Max. točivý moment [Nm/min ⁻¹] | 200/320 - 1 700 |
| Maximální výkon systému [kW (k)] | 208 (283) |
| Převodovka | 6stupňová Geartronic |
| Emisní norma | Euro 6 |
| Baterie | |
| Typ baterie | lithium-iontový |
| Kapacita [kWh] | 11,2 |
| Spotřeba | |
| Kombinovaná [l/100 km] | 1,8 |
| Ostatní parametry | |
| Max. rychlost [km/h] | 230 |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 6 |
| Emise kombinace [g/km] | 48 |
| Objem palivové nádrže [l] | 45 |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 2 058 |

Zdroj: http://www.volvodirect.cz/cenik/V60PHEV_cenik.pdf



Obr. 28: Volvo V60 PHEV

Zdroj: http://www.volvodirect.cz/cenik/V60PHEV_cenik.pdf

5.2.4 Toyota Prius Live

Tab. 9: Technické parametry Toyota Prius Live

| | |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 744 900 |
| Pohonné ústrojí | |
| Spalovací motor | řadový zážehový čtyřválec |
| Objem spalovacího motoru [l (cm ³)] | 1,8 (1 798) |
| Výkon spalovacího motoru [kW (k)/min ⁻¹] | 72 (98)/5 200 |
| Max. točivý [Nm/min ⁻¹] | 142/3 600 |
| Elektromotor | synchronní motor s permanent. magnetem |
| Max. výkon [kW (k)] | 53 (72) |
| Max. točivý moment [Nm] | 163 |
| Maximální výkon systému [kW (k)] | 90 (122) |
| Převodovka | e-CVT |
| Emisní norma | Euro 6 |
| Baterie | |
| Typ baterie | nikl-metal hydridový |
| Napětí [V] | 650 |
| Spotřeba | |
| Město [l/100 km] | 2,9 |
| Mimo město [l/100 km] | 3,1 |
| Kombinovaná [l/100 km] | 3,0 |
| Ostatní parametry | |
| Max. rychlost [km/h] | 180 |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 10,6 |
| Emise kombinace [g/km] | 70 |
| Objem palivové nádrže [l] | 43 |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 790 |

Zdroj: <https://www.toyota.cz/carconfig/pdf/230jZOA>



Obr. 29: Toyota Prius Live

Zdroj: <https://www.toyota.cz/carconfig/pdf/230jZOA>

5.2.5 Volkswagen Passat GTE

Tab. 10: Technické parametry Volkswagen Passat GTE

| | |
|------------------------------------------------------|-------------------------|
| Cena s DPH [Kč] | 1 149 900 |
| Pohonné ústrojí | |
| Spalovací motor | 4 válcový zážehový |
| Objem spalovacího motoru [l (cm ³)] | 1,4 (1 395) |
| Výkon spalovacího motoru [kW (k)/min ⁻¹] | 115 (156)/5 000 - 6 000 |
| Max. točivý [Nm/min ⁻¹] | 250/1 500 - 3 500 |
| Elektromotor | elektromotor |
| Max. výkon [kW (k)] | 85 (116) |
| Max. točivý moment [Nm] | - |
| Maximální výkon systému [kW (k)] | 160 (218) |
| Převodovka | DSG-6 stupňů |
| Emisní norma | Euro 6 |
| Baterie | |
| Typ baterie | lithium-iontový |
| Kapacita [kWh] | 8,7 |
| Spotřeba | |
| Kombinovaná [l/100 km] | 1,7 - 1,6 |
| Kombinovaná [kWh/100 km] | 12,8 - 12,2 |
| Ostatní parametry | |
| Max. rychlost [km/h] | 225 |
| Zrychlení 0-100 km/h [s] | 7,4 |
| Emise kombinace [g/km] | 39 - 37 |
| Objem palivové nádrže [l] | - |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 722 |

Zdroj: http://www.volkswagen.cz/modely/novy_passat_gte/ceniky_a_data/



Obr. 30: Volkswagen Passat GTE

Zdroj: http://cc.porscheinformatik.com/nwapp/nws_cz/ICC3/VW!cs!!!V!!!?MGN=601&AUV=GTE

6 TECHNICKO-EKONOMICKÁ ANALÝZA

Provedeme technicko-ekonomickou analýzu vybraných vozů. Pro porovnání nákladů byla zvolena modelová řada Golf sedmé generace od německé automobilky Volkswagen. Automobily této řady se nabízí jak v benzínové, elektrické, tak v hybridní verzi. Konkrétně jde o vozidla Golf 1,2 TSI, e-Golf a Golf GTE.

Provedeme srovnání pořizovacích cen, provozních nákladů, ceny za servis a za povinné ručení. Předpokladem pro všechna vozidla bude ujetí 150 000 km za dobu deseti let, po kterou budeme automobily provozovat jako soukromá osoba.

Konstantní položkou u všech automobilů bude cena pneumatik. Budeme předpokládat, že vozidla budou provozována na stejných typech pneumatik se stejným opotřebením a do celkového ekonomického hodnocení tento aspekt nebudeme zahrnovat. Pneumatiky pro VW Golf se používají v rozměru 205/55 R16.

6.1 Benzínový vůz

Jako zástupce benzínového vozu byl vybrán vůz VW Golf se čtyřválcovým zážehovým motorem o objemu 1,2 l. Jedná se o přeplňovaný benzínový motor s přímým vstřikem paliva.

Tab. 11: Technické parametry Golf 1.2 TSI

| Pohonné ústrojí | |
|--------------------------------------------|--------------------------|
| Zdvihový objem[l (cm ³)] | 1,2 (1 197) |
| Max. výkon [kW (k)/min ⁻¹] | 81 (110)/4 600 - 5 600 |
| Max. točivý moment [Nm/min ⁻¹] | 175/1 400 - 4 000 |
| Emisní třída | Euro 6 |
| Převodovka | 6st. manuální (7st. DSG) |
| Spotřeba paliva | |
| Spotřeba ve městě [l/100 km] | 6,2 - 6,1 (6,0 - 5,9) |
| Spotřeba mimo město [l/100 km] | 4,3 - 4,2 (4,4 - 4,3) |
| Spotřeba kombinovaná [l/100 km] | 5,0 - 4,9 (5,0 - 4,9) |
| Ostatní parametry | |
| Emise CO ₂ kombinovaná [g/km] | 116 - 114 (114 - 112) |
| Nejvyšší rychlost [km/h] | 195 |
| Zrychlení: 0 - 100 km/h [s] | 9,9 |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 210 (1 229) |
| Celková přípustná hmotnost [kg] | 1 730 (1 750) |
| Objem nádrže [l] | 50 |

Zdroj: http://www.volkswagen.cz/modely/golf/ceniky_a_data/technicka_data

Tab. 12: Finanční náklady Golf 1,2 TSI

| Finanční náklady | |
|---------------------------|---------|
| Požizovací cena [Kč] | 442 900 |
| Natural 95 [Kč/l] | 26,22 |
| Povinné ručení [Kč/rok] | 4 554 |
| 1. servis 30 000 km [Kč] | 5 000 |
| 2. servis 60 000 km [Kč] | 8 000 |
| 3. servis 90 000 km [Kč] | 6 000 |
| 4. servis 120 000 km [Kč] | 11 000 |

Zdroje: http://www.volkswagen.cz/modely/golf/ceniky_a_data/ceniky

<https://www.czso.cz/csu/czso/cri/setreni-prumernych-cen-vybranych-vyrobku-pohonne-hmoty-a-topne-oleje-9-kalendarni-tyden-2016>

<https://online.allianz.cz/>

<http://www.autohit.cz/files/content//0c5b942cf1a58609dbf9d270e3cfa989.jpg?width=1200&height=1500>



Obr. 31: Volkswagen Golf 1,2 TSI

Zdroj: http://cc.porscheinformatik.com/nwapp/nws_cz/ICC3/VW!cs!!!V!!!/?MGN=125

6.1.1 Náklady za palivo

Nejprve byly vypočítány náklady za palivo. Počítáme s udávanou kombinovanou spotřebou paliva 5 l/100 km a s předpokladem najetých 150 000 km za dobu provozu vozidla. Podle Českého statistického úřadu je průměrná cena za litr Naturalu 95 za 9. týden roku 2016 26,22 Kč.

Cena na jeden ujetý kilometr:

$$Cena_{1km} = \frac{spotreba \cdot cena}{100} = \frac{5 \cdot 26,22}{100} = 1,311 \text{ Kč}$$

Cena nákladů za palivo na 150 000 km:

$$Cena_{150tis} = cena_{1km} \cdot ujetekm = 1,311 \cdot 150000 = 196650 \text{ Kč}$$

6.1.2 Povinné ručení

Další položkou pro provoz automobilu je povinné ručení. Podle online kalkulátoru společnosti Allianz pojišťovny, a.s. lze tento vůz pojistit společně se základní asistenční službou pro osobu od 25 let za 4 554 Kč/rok.

Cena pojištění za 10 let:

$$Pojisteni_{10let} = 4554 \cdot 10 = 45540 \text{ Kč}$$

6.1.3 Servis

Servisní intervaly jsou nastaveny po 30 000 km. Při každé návštěvě servisu bude prováděn určitý servisní úkon na vozidle. Náklady za tyto úkony jsou shrnuty v tab. 12. a zahrnují výměnu oleje, filtrů, brzdových destiček, kotoučů, brzdové kapaliny, individuálních oprav atd. Náklady za tento servis budou 30 000 Kč při najetí 150 tis. kilometrů.

6.1.4 Dojezd

Golf 1.2 TSI má udávaný objem nádrže pro palivo 50 l. To znamená, že při kombinované spotřebě benzínu 5 l na 100 km dokáže na jednu natankovanou nádrž urazit teoreticky 1 000 km. V praxi je však dojezdová vzdálenost o něco menší v závislosti na typu provozu, ve kterém se vozidlo pohybuje.

6.2 Elektromobil

Volkswagen e-Golf patří k první generaci moderních elektromobilů německých automobilek. Jedná se o čistě o elektrický automobil, který pohání synchronní AC elektromotor s permanentními magnety. Jsou zde použity baterie li-ion 26,5 kWh/323 V s 264 články (HOŘČÍK, 2015).

Tab. 13: Technické parametry e-Golf

| Pohonné ústrojí | |
|--------------------------------------------|-------------------------|
| Zdvihový objem [l (cm ³)] | 0 |
| Max. výkon [kW (k)/min ⁻¹] | 85 (115)/3 000 - 12 000 |
| Max. točivý moment [Nm/min ⁻¹] | 270/0 - 3 000 |
| Emisní třída | Euro 6 |
| Převodovka | 1st. automatizovaná |
| Spotřeba paliva | |
| Spotřeba ve městě [kWh/100 km] | - |
| Spotřeba mimo město [kWh/100 km] | - |
| Spotřeba kombinovaná [kWh/100 km] | 12,7 |
| Ostatní parametry | |
| Emise CO ₂ kombinovaná [g/km] | 0 |
| Nejvyšší rychlost [km/h] | 140 |
| Zrychlení: 0-100 km/h [s] | 10,4 |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 585 |
| Celková přípustná hmotnost [kg] | 1 980 |

Zdroj: http://www.volkswagen.cz/modely/e-golf/ceniky_a_data/technicka_data

Tab. 14: Finanční náklady e-Golf

| Finanční náklady | |
|---------------------------|---------|
| Požizovací cena [Kč] | 930 900 |
| Povinné ručení [Kč/rok] | 4 631 |
| Sazba elektřiny [Kč/kWh] | 1,36342 |
| 1. servis 60 000 km [Kč] | 5 000 |
| 2. servis 120 000 km [Kč] | 5 000 |

Zdroje: http://www.volkswagen.cz/modely/e-golf/ceniky_a_data/ceniky

<https://online.allianz.cz/>

<https://www.eon.cz/-a26143?field=data>



Obr. 32: Volkswagen e-Golf

Zdroj: http://cc.porscheinformatik.com/nwapp/nws_cz/ICC3/VW!cs!!!V!!!/?MGN=126

6.2.1 Náklady za elektřinu

Kombinovaná spotřeba pro elektromobil je udávaná 12,7 kWh/100km, dále opět počítáme se 150 000 ujetými kilometry za dobu provozu. Předpokladem je, že elektromobil bude nabíjen v domácích podmínkách v noci. Cena elektřiny dle aktuálního ceníku Aku D27d (sazba pro elektromobily) společnosti E.ON Česká republika, s.r.o. platného od 1. 1. 2016 je 1,36342 Kč/kWh v nočním tarifu.

Cena na jeden ujetý kilometr:

$$Cena_{1km} = \frac{spotreba \cdot cena}{100} = \frac{12,7 \cdot 1,36342}{100} = 0,1732 K\check{c}$$

Cena nákladů za elektřinu na 150 000 km:

$$Cena_{150tis} = cena_{1km} \cdot ujeze_{km} = 0,1732 \cdot 150000 = 25980 K\check{c}$$

6.2.2 Servis

V případě elektromobilu odpadá nutnost výměny provozních kapalin motoru. Proto interval návštěv v autoservise nebude tak velký jako u automobilu se spalovacím motorem. Servisním úkonem bude především výměna brzdových kotoučů, destiček a brzdové kapaliny. Cena za servis elektromobilu bude 10 000 Kč za 150 000 ujetých kilometrů. Záruka na baterii, kterou garantuje výrobce, je minimálně 8 let, nebo 160 000 najetých kilometrů (KRNÁČ, 2015). To znamená, že v průběhu provozování vozidla nebude nutné baterii měnit.

6.2.3 Povinné ručení

Cena povinného ručení pro elektromobil je podle kalkulátoru společnosti Allianz pojišťovny, a.s. se základní asistenční službou pro osobu od 25 let 4 631 Kč za rok.

Cena pojištění za 10 let:

$$Pojisteni_{10let} = 4631 \cdot 10 = 46310 K\check{c}$$

6.2.4 Dojezd

Výrobce udává, že dojezd u modelu e-Golf se v praxi pohybuje mezi 130 až 190 km na jedno nabití baterií. Tato vzdálenost je ale závislá na tom, v jakém jízdním režimu se auto používá, zda je při jízdě zapnutá klimatizace a podobně.

6.3 Plug-in hybrid

Volkswagen Golf GTE je plug-in hybrid, který kombinuje čtyřválcový zážehový motor o objemu 1,4 l a elektromotor. Tento automobil má vyšší výkon oproti srovnávaným modelům především díky použití dvou motorů. Také zážehový agregát má větší zdvihový objem, a tím i vyšší výkon. Automobilka Volkswagen však tento model s jiným spalovacím motorem nenabízí.

Tab. 15: Technické parametry Golf GTE

| Pohonné ústrojí | |
|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| Zdvihový objem [l (cm ³)] | 1,4 (1 395) |
| Max. výkon spal. motoru [kW (k)/min ⁻¹] | 110 (150) / 5 000 - 6 000 |
| Max. výkon el. motoru [kW (k)/min ⁻¹] | 75 (102)/2 500 |
| Max. společný výkon [kW (k)] | 150 (204) |
| Max. točivý moment spal. motoru [Nm při 1/min] | 250/1 600 - 3 500 |
| Max. točivý moment el. motoru [Nm] | 350 |
| Emisní třída | Euro 6 |
| Převodovka | 6st. DSG |
| Spotřeba paliva | |
| Spotřeba ve městě [l/100 km] | - |
| Spotřeba mimo město [l/100 km] | - |
| Spotřeba kombinovaná [l/100 km] | 1,7 - 1,5 |
| Ostatní parametry | |
| Emise CO ₂ kombinovaná [g/km] | 39-35 |
| Nejvyšší rychlost [km/h] | 222 |
| Zrychlení: 0-100 km/h [s] | 7,6 |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 599 |
| Celková přípustná hmotnost [kg] | 2 020 |
| Objem nádrže [l] | 40 |

Zdroj: http://www.volkswagen.cz/modely/golf_gte/ceniky_a_data/technicka_data

Tab. 16: Finanční náklady Golf GTE

| Finanční náklady | |
|---------------------------|-----------|
| Požizovací cena [Kč] | 1 009 900 |
| Povinné ručení [Kč/rok] | 4 660 |
| Cena Naturalu 95 [Kč/l] | 26,22 |
| 1. servis 30 000 km [Kč] | 4 000 |
| 2. servis 60 000 km [Kč] | 6 000 |
| 3. servis 90 000 km [Kč] | 5 000 |
| 4. servis 120 000 km [Kč] | 9 000 |

Zdroje: http://www.volkswagen.cz/modely/golf_gte/ceniky_a_data/ceniky

<https://online.allianz.cz/>

<https://www.czso.cz/csu/czso/cri/setreni-prumernych-cen-vybranych-vyrobkupohonne-hmoty-a-topne-oleje-9-kalendarni-tyden-2016>



Obr. 33: Volkswagen Golf GTE

Zdroj: http://cc.porscheinformatik.com/nwapp/nws_cz/ICC3/VW!cs!!!V!!!/?MGN=125&AUV=GTE

6.3.1 Náklady za palivo

Náklady za benzín budeme počítat obdobně jako u benzínového Golfu.

Cena na jeden ujetý kilometr:

$$Cena_{1km} = \frac{spotreba \cdot cena}{100} = \frac{1,7 \cdot 26,22}{100} = 0,446 K\check{c}$$

Cena nákladů za palivo na 150 000 km:

$$Cena_{150tis} = cena_{1km} \cdot ujete_{km} = 0,446 \cdot 150000 = 66900 K\check{c}$$

6.3.2 Servis

Servisní úkony budou podobné jako u benzínového vozu. U hybridního vozidla se musí stejně jako u Golfu 1,2 TSI měnit provozní kapaliny motoru a brzdových

komponentů. Ovšem opotřebení brzdových destiček a kotoučů je v případě hybridního vozu menší díky rekuperačnímu brzdění. Servis za hybridní vůz při najetí 150 tis. kilometrů bude 24 000 Kč.

6.3.3 Povinné ručení

Povinné ručení je podle společnosti Allianz pojišťovny, a.s. 4 660 Kč za rok.

$$Pojisteni_{10let} = 4660 \cdot 10 = 46600 \text{ Kč}$$

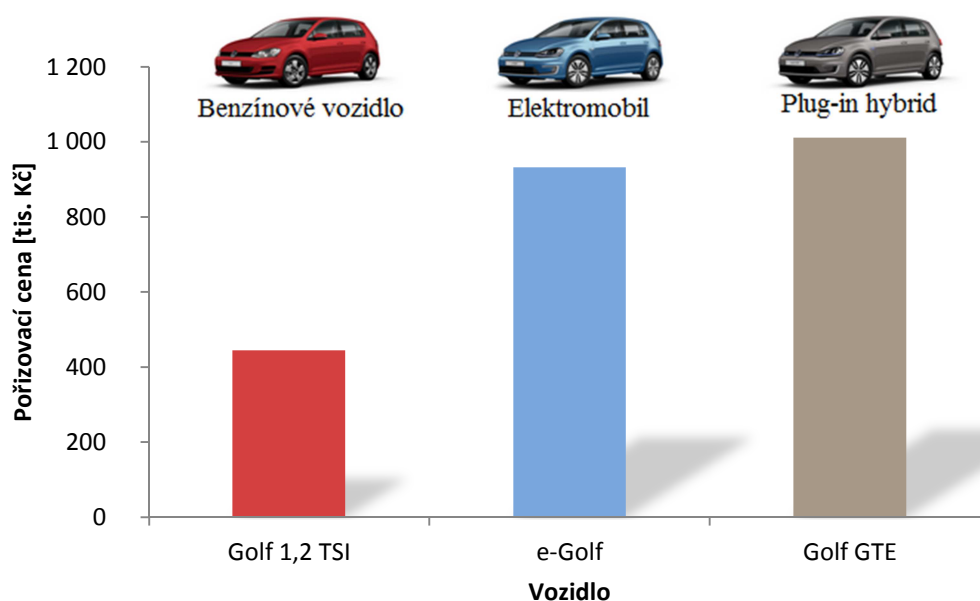
6.3.4 Dojezd

Automobilka Volkswagen udává, že Golf GTE urazí na čistě elektrický pohon 50 km. Celkový teoretický dojezd pak činí 939 km (VOLKSWAGEN, 2014).

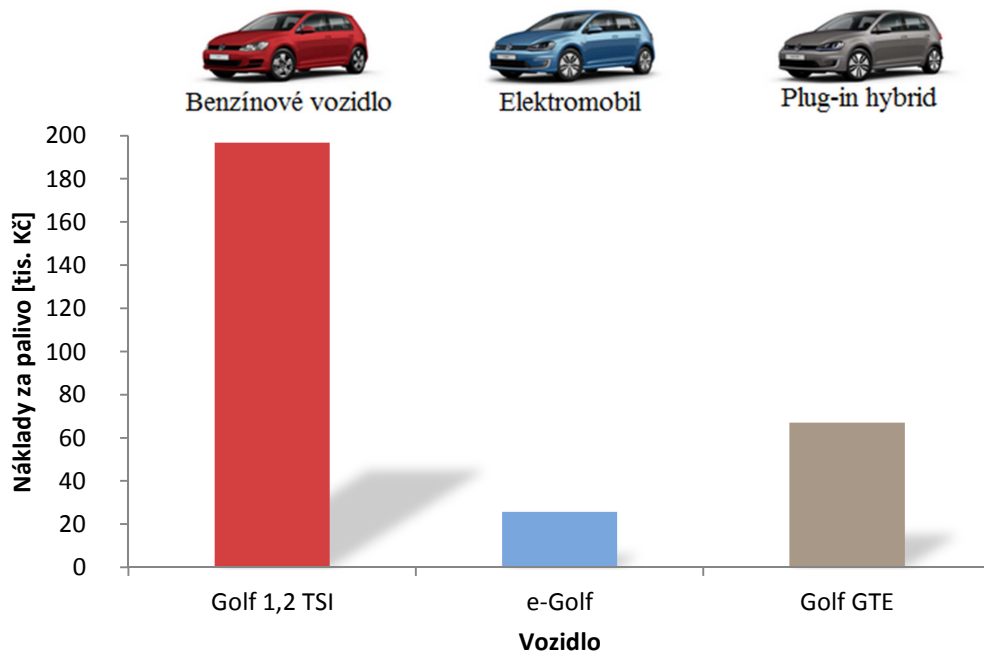
6.4 Zhodnocení nákladů na provoz vybraných vozidel

Tab. 17: Ekonomické srovnání vozů při 150 000 km

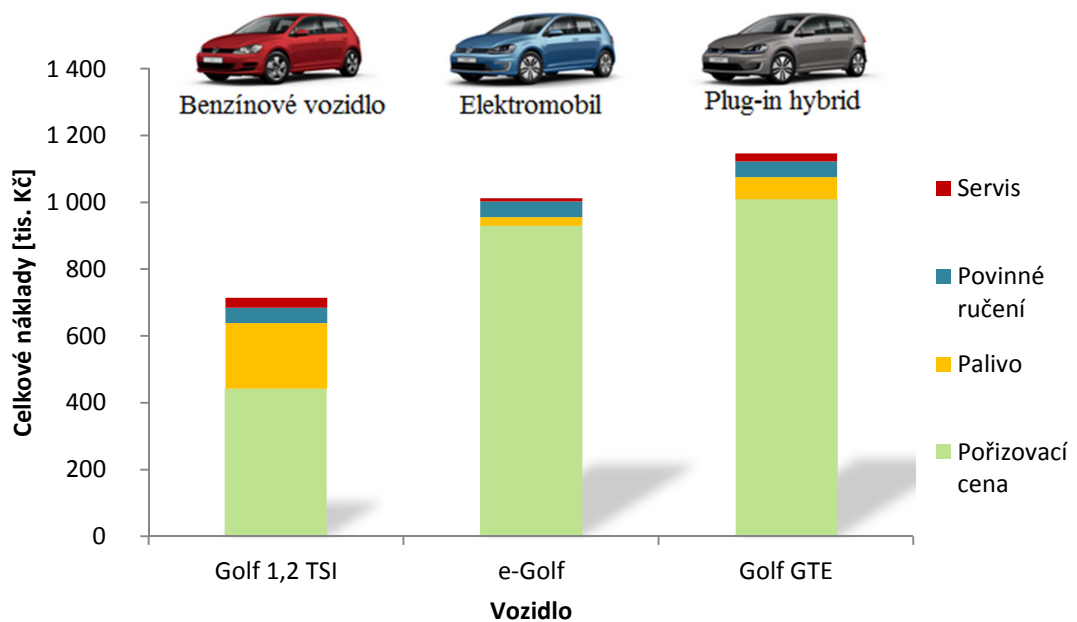
| Vozidlo | Golf 1,2 TSI | e-Golf | Golf GTE |
|--------------------------------|--------------|-----------|-----------|
| Pořizovací cena [Kč] | 442 900 | 930 900 | 1 009 900 |
| Palivo [Kč] | 196 650 | 25 980 | 66 900 |
| Povinné ručení [Kč] | 45 540 | 46 310 | 46 600 |
| Servis [Kč] | 30 000 | 10 000 | 24 000 |
| Celkem náklady [Kč] | 715 090 | 1 013 190 | 1 147 400 |
| Rozdíl oproti nejdražšímu [Kč] | + 432 310 | + 134 210 | 0 |



Obr. 34: Pořizovací náklady vozidel



Obr. 35: Náklady za palivo při najetí 150 000 km



Obr. 36: Celkové náklady při najetých 150 000 km

Na první pohled je vidět, že nejnižší pořizovací cenu má Golf 1,2 TSI se spalovacím motorem. V porovnání s ostatními vozy má ale nejvyšší náklady na servis a palivo. Cena za palivo při ujetých 150 000 km je oproti elektromobilu o 170 670 Kč vyšší a oproti hybridnímu vozu o 129 750 Kč. Povinné ručení u všech vozů je srovnatelné.

Elektromobil e-Golf má vyšší pořizovací náklady, na čemž se podílí cena baterií. Náklady za palivo a servis jsou ze všech srovnávaných modelů nejnižší. Je to dáno především nízkou cenou za elektřinu oproti benzínu a absencí spalovacího motoru, tudíž není nutné pravidelně měnit olej a olejový filtr. Také díky rekuperačnímu brzdění dokáže e-Golf snížit opotřebení brzdových komponentů.

Nejvyšší pořizovací cenu má hybridní Golf GTE, a to z důvodu komplikovanějších technologií, použití dvou motorů a baterií. Ovšem náklady za servis a za palivo jsou nižší, než u vozidla se spalovacím motorem.

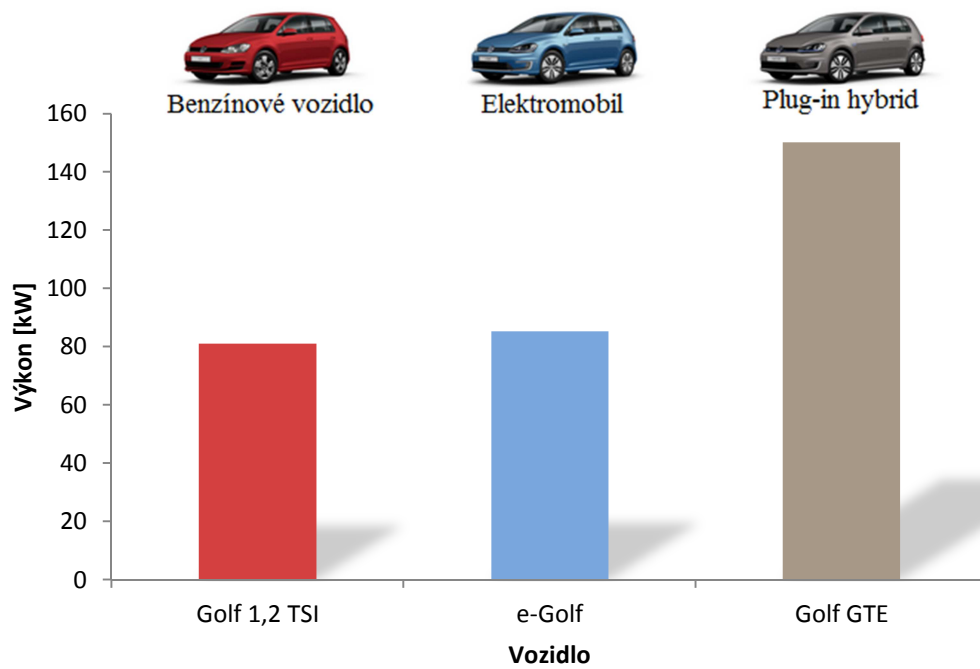
V součtu nákladů je vidět, že finančně je nejvýhodnější Golf 1.2 TSI. Nejvýznamnější položkou je pořizovací cena, která je u Golfu se spalovacím motorem výrazně nižší, a tím vyrovná vyšší náklady za servis a palivo. Oproti nejdražším celkovým nákladům Golfu GTE ušetříme zhruba 430 000 Kč, a oproti elektromobilu ušetříme zhruba 300 000 Kč.

Celkově se dá říct, že elektromobily a hybridní vozidla jsou zatím dostupné především pro uživatele, kteří si z finančního hlediska mohou dovolit vyšší pořizovací cenu a poté vůz provozovat s nižšími provozními náklady a s ekologickým provozem.

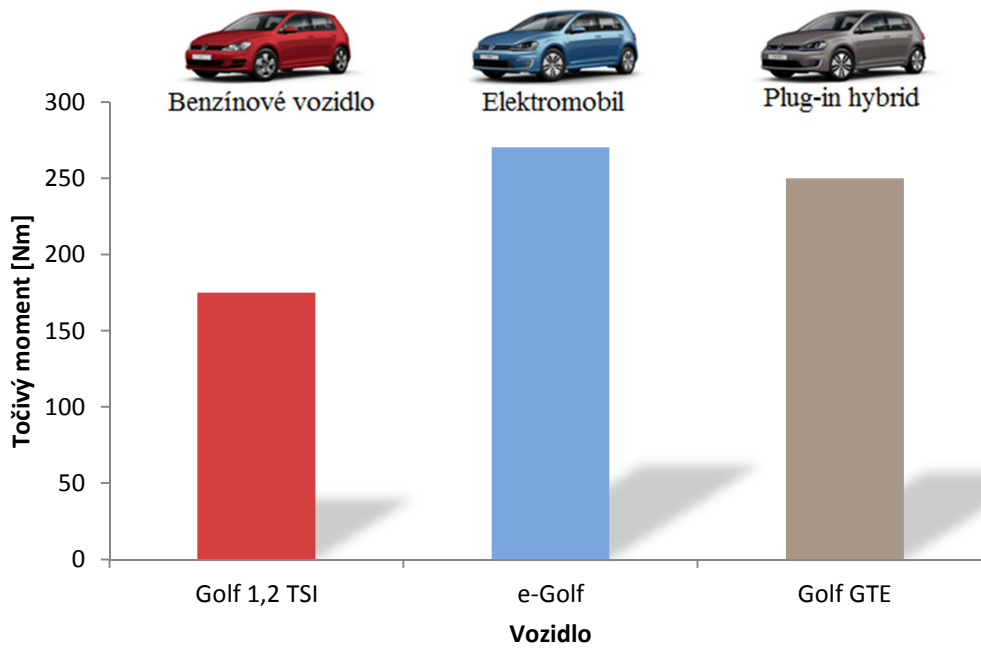
6.5 Zhodnocení technických parametrů vybraných vozidel

Tab. 18: Srovnání technických parametrů vozidel

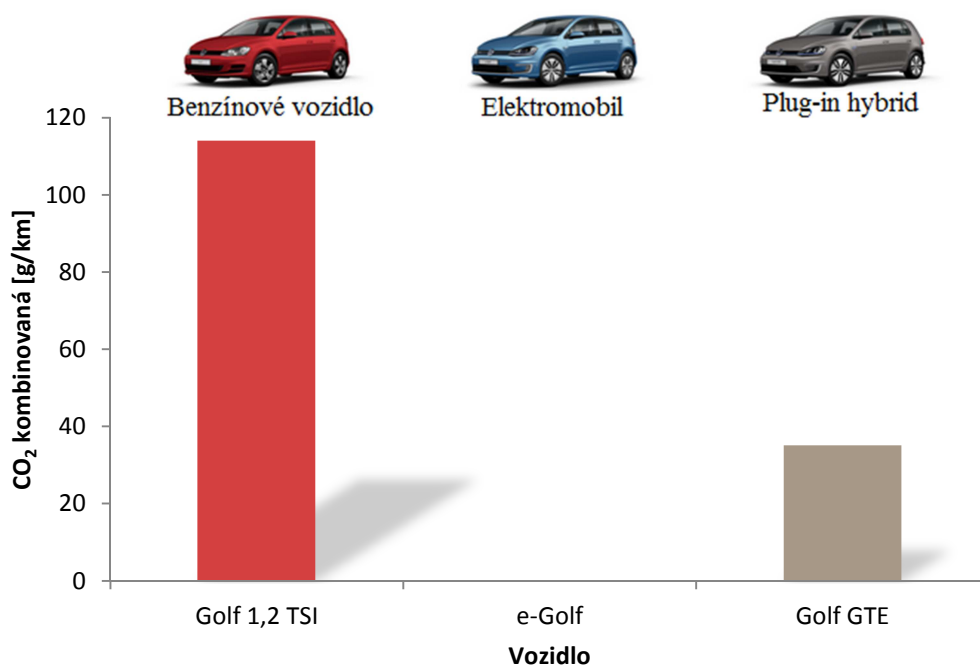
| Vozidlo | Golf 1,2 TSI | e-Golf | Golf GTE |
|------------------------------|--------------|--------|----------|
| Max. výkon [kW] | 81 | 85 | 150 |
| Max. točivý moment [Nm] | 175 | 270 | 250 |
| CO2 kombinovaná [g/km] | 116 | 0 | 39 |
| Pohotovostní hmotnost [kg] | 1 210 | 1 585 | 1 599 |
| Dojezd na nádrž/baterii [km] | 1 000 | 190 | 939 |



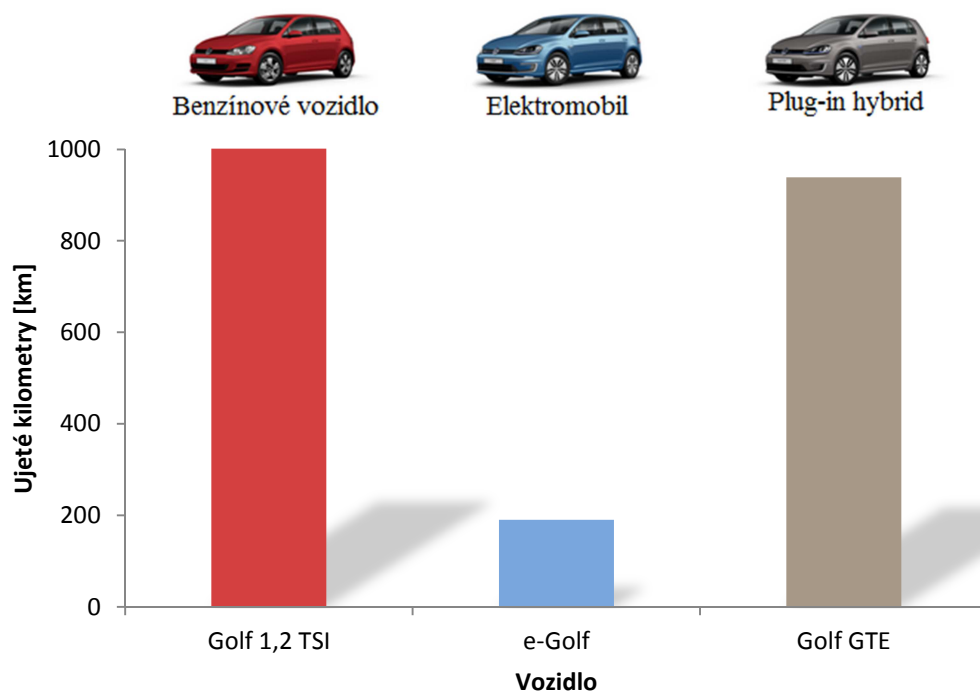
Obr. 37: Maximální výkon vozidel



Obr. 38: Maximální točivý moment vozidel



Obr. 39: Produkce CO₂ při kombinované spotřebě paliva



Obr. 40: Počet ujetých kilometrů na nádrž (baterii)

Elektromobil a vozidlo se spalovacím motorem mají srovnatelný výkon motoru. Výkon motoru hybridního automobilu je vyšší díky kombinaci elektromotoru a spalovacího motoru s vyšším zdvihovým objemem, než je tomu u Golfu 1,2 TSI.

U elektromobilu je vidět velký točivý moment, kterým disponuje elektromotor. Nulovou produkci CO₂ při kombinované spotřebě má elektromobil, který nespaluje žádné palivo, a je tak ekologický. U hybridního vozu je díky kombinaci elektromotoru a spalovacího agregátu produkce CO₂ nízká (39 - 35 g/km). Nejvyšší produkci CO₂ má Golf 1,2 TSI, protože využívá k pohonu jen spalovací motor.

Dojezd elektromobilů je obecně malý a není tomu jinak ani u e-Golfu. Jeho dojezd je maximálně 190 km při ekonomické jízdě, tedy při jízdě v EKO režimu a bez zapnuté klimatizace. Proto je elektromobil nejlépe využitelný pro městskou, či příměstskou dopravu, kdy denní počet kilometrů nepřesáhne deklarovanou dojezdovou vzdálenost. Naopak u Golfu s benzínovým motorem 1.2 TSI je dojezd až 1 000 km na jednu nádrž a je vhodný i na dlouhé cesty. U hybridního vozidla je deklarovaný dojezd 939 km, což je dojezd srovnatelný s benzínovým Golfem.

Nejlépe z porovnávaných technických údajů vychází hybridní Golf GTE, který má velký výkon, velký točivý moment, malou spotřebu, nízkou produkci CO₂ a velký dojezd. Je to však dáno spojením dvou motorů a vyšším zdvihovým objemem zážehového motoru. Elektromobil dosahuje dobrých technických parametrů, avšak jeho dojezd je omezený, a proto není využitelný pro delší cesty. VW Golf se spalovacím motorem má velký dojezd na jednu nádrž, nemá však takové výkonnostní parametry jako ostatní vozidla a není tolik šetrný k životnímu prostředí.

7 ZÁVĚR

S rozrůstající se světovou silniční dopravou se zvyšuje i nárok na ekologické a ekonomické automobily. Automobilky se proto snaží snižovat u svých vozidel produkci škodlivých emisí, spotřebu paliva a náklady na výrobu. Automobily s alternativními pohony, jako jsou např. elektromobily a hybridní vozidla, již běžně potkáváme na našich silnicích a stále jich přibývá.

Elektromobily kvůli technologiím baterií nedokážou zatím ujet velký počet kilometrů na jedno nabití, a proto je jejich využití zatím omezené. Ovšem tento typ pohonu je velmi ekonomický a ekologický.

Hybridní vozidlo kombinuje spalovací motor s elektromotorem, a tím je dojezd elektrického pohonu prodloužen. Použitím dvou motorů má vozidlo vyšší hmotnost, ale díky tomu umožňuje dosáhnout většího výkonu vozidla.

Technicko-ekonomickou analýzou bylo zjištěno, že nejekologičtější a nejeekonomičtější vozidlem, co se týče provozu, je elektromobil. Má nulové emise CO₂ a díky ceně elektřiny jsou jeho náklady za palivo nízké. Dojezd elektromobilu je však velmi malý a jeho pořizovací cena je vysoká, proto zatím není konkurenceschopný konvenčním palivům.

Podobně si stojí také hybridní vozidlo, které je kombinací elektromobilu a automobilu se spalovacím motorem. Má nízké emise, přijatelné náklady za palivo, a oproti elektromobilu má velký dojezd. Ovšem pořizovací cena je vysoká, a tedy ekonomicky nevýhodná.

Naopak automobil se spalovacím motorem má vyšší náklady na palivo a není tak šetrný k životnímu prostředí. Ovšem z ekonomického hlediska při sečtení veškerých nákladů na provoz je automobil se spalovacím motorem stále nejvýhodnější.

Alternativní pohony zatím stěží konkurují konvenčním pohonům a běžný uživatel raději zvolí ekonomickou variantu v podobě spalovacího motoru, který má nízkou pořizovací cenu. Tyto pohony však mají velkou budoucnost a je otázkou času, kdy technologie pokročí natolik, že budou ekonomicky zajímavé pro všechny uživatele.

8 POUŽITÉ ZDROJE

8.1 Seznam literatury

HROMÁDKO, J., 2012: *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Praha: Grada Publishing, a.s., 160 s. ISBN 978-80-247-4455-1.

JAN, Z., KUBÁT J. a ŽDÁNSKÝ B., 2006: *Elektrotechnika motorových vozidel*. 2. vydání. Brno: Avid s.r.o. Brno, 199 s. ISBN 80-903671-4-3.

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

TKOTZ, Klaus a kol., 2006: *Příručka pro elektrotechnika*. 2. vydání. Praha: Europa-Sobotáles cz. s.r.o., 624 s. ISBN 80-86706-13-3.

VLK, F., 2004: *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.

8.2 Periodika

PREJZEK, L., 2015: *Nerušit, dobývám!*. Auto TIP, 74(7). ISSN 1210-1087.

8.3 Internetové zdroje

BUREŠ, D., 2013: *Budoucnost aut podle Nissanu? Maličké vozy a stylovky pro mladé*. [online]. [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/budoucnost-aut-nissanu-77254>

BURKOVIČ, R., 2014: *Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenaletět*. [online]. [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-неналетет>

HORČÍK, J., 2015: *Volkswagen e-Golf: cena, dojezd, specifikace*. [online]. [cit. 2016-03-08]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/volkswagen-e-golf-cena-dojezd-specifikace>

HOUBA, V., 2015: *Budoucnost elektromobilů je stále zářivější!*. [online]. [cit. 2016-02-14]. Dostupné z: <http://tempomag.cz/budoucnost-elektromobilu-je-stale-zarivejsi/>

JIRKA, T., 2015: *Hybridní systémy pro pohon automobilů*. [online]. [cit. 2016-02-26]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/elektromobilita/hybridni-systemy-pro-pohon-automobilu/>

- KALOČ, J., 2014: *Elektromobil má díky revolučnímu akumulátoru dojezd 1600 km.* [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné z:
<http://www.petrolmedia.cz/aktuality/archiv/2014/25/elektromobil-ma-diky-revolucnimu-akumulatoru-dojezd-1600-km-3991.aspx>
- KRNÁČ, D., 2015: TEST: *Volkswagen e-Golf – elektrina, nejlepší pohon pro nejlepší hatchback?*. [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z:
<http://automix.atlas.sk/testy/854011/test-volkswagen-e-golf-elektrina-najlepsi-pohon-pre-najlepsi-hatchback>
- SVOBODA J., 2015: *Automobily s hybridním pohonem.* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.charar-chalupar.cz/automobily-s-hybridnim-pohonem/>
- VOKÁČ, L., 2014: *Elektromobil urazí tisíce kilometrů. Díky bateriím z řas nebo hliníku.* [online]. [cit. 2016-02-20]. Dostupné z: http://auto.idnes.cz/baterie-z-ras-nebo-hliniku-096-/automoto.aspx?c=A140616_231839_automoto_vok
- VOLKSWAGEN, 2014: *Světová premiéra pro Golf GTE.* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z:
http://www.volkswagen.cz/svet_volkswagen/novinky/novinky/2259_sv_tova_premiera_pro_golf_gte

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Obr. 1: Uspořádání hnacího ústrojí pro elektromobily (VLK, 2004)</i> | 12 |
| <i>Obr. 2: Uložení baterií v podlaze elektromobilu Volvo E30 Electric</i> | 13 |
| <i>Obr. 3: Plynotěsný NiCd akumulátor (TKOTZ A KOL., 2006)</i> | 14 |
| <i>Obr. 4: Lithiový iontový akumulátor (TKOTZ A KOL., 2006)</i> | 15 |
| <i>Obr. 5: ALFA články hliník-vzduch</i> | 16 |
| <i>Obr. 6: Princip konstrukce elektromotoru (TKOTZ A KOL., 2006)</i> | 17 |
| <i>Obr. 7: Stejnosměrný motor s cizím buzením - běh doleva (TKOTZ A KOL., 2006)</i> | 18 |
| <i>Obr. 8: Asynchronní motor - indukční působení točivého pole na nehybný rotor (TKOTZ A KOL., 2006)</i> | 19 |
| <i>Obr. 9: Synchronní motor s permanentním buzením (KAMEŠ, 2004)</i> | 20 |
| <i>Obr. 10: Dobíjecí stanice 400V/32 A - 230V/16A v parkovacích garážích u Janáčkova divadla v Brně</i> | 21 |
| <i>Obr. 11: Mapa dobíjecích stanic v ČR</i> | 22 |
| <i>Obr. 12: Přehled dobíjecích konektorů</i> | 22 |
| <i>Obr. 13: Sériové uspořádání hybridního pohonu</i> | 25 |
| <i>Obr. 14: Paralelní uspořádání hybridního pohonu</i> | 25 |
| <i>Obr. 15: Paralelní uspořádání hybridního pohonu všech kol</i> | 26 |
| <i>Obr. 16: Schéma hydrostatické rekuperace při brzdění</i> | 29 |
| <i>Obr. 17: Uspořádání komponentů vozidla</i> | 29 |
| <i>Obr. 18: Běžná jízda</i> | 29 |
| <i>Obr. 19: Předjíždění (výkonová špička)</i> | 30 |
| <i>Obr. 20: Brzdění</i> | 30 |
| <i>Obr. 21: Nissan LEAF</i> | 31 |
| <i>Obr. 22: Peugeot iOn</i> | 32 |
| <i>Obr. 23: Kia Soul EV</i> | 33 |
| <i>Obr. 24: BMW i3</i> | 34 |
| <i>Obr. 25: Mercedes-Benz B Electric Drive</i> | 35 |
| <i>Obr. 26: Toyota Auris ACTIVE Hybrid</i> | 36 |
| <i>Obr. 27: Lexus CT200h Eco</i> | 37 |
| <i>Obr. 28: Volvo V60 PHEV</i> | 38 |
| <i>Obr. 29: Toyota Prius Live</i> | 39 |
| <i>Obr. 30: Volkswagen Passat GTE</i> | 40 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Obr. 31: Volkswagen Golf 1,2 TSI.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Obr. 32: Volkswagen e-Golf.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Obr. 33: Volkswagen Golf GTE.....</i> | <i>47</i> |
| <i>Obr. 34: Pořizovací náklady vozidel</i> | <i>48</i> |
| <i>Obr. 35: Náklady za palivo při najetí 150 000 km</i> | <i>49</i> |
| <i>Obr. 36: Celkové náklady při najetých 150 000 km</i> | <i>49</i> |
| <i>Obr. 37: Maximální výkon vozidel.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Obr. 38: Maximální točivý moment vozidel.....</i> | <i>51</i> |
| <i>Obr. 39: Produkce CO₂ při kombinované spotřebě paliva.....</i> | <i>52</i> |
| <i>Obr. 40: Počet ujetých kilometrů na nádrž (baterii)</i> | <i>52</i> |

10 SEZNAM TABULEK

| | |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Tab. 1: Technické parametry Nissan LEAF (baterie 24 kW/h)</i> | 31 |
| <i>Tab. 2: Technické parametry Peugeot iOn</i> | 32 |
| <i>Tab. 3: Technické parametry Kia Soul EV</i> | 33 |
| <i>Tab. 4: Technické parametry BMW i3 BEV</i> | 34 |
| <i>Tab. 5: Technické parametry Mercedes-Benz B Electric Drive</i> | 35 |
| <i>Tab. 6: Technické parametry Toyota Auris ACTIVE</i> | 36 |
| <i>Tab. 7: Technické parametry Lexus CT200h Eco</i> | 37 |
| <i>Tab. 8: Technické parametry Volvo V60 PHEV</i> | 38 |
| <i>Tab. 9: Technické parametry Toyota Prius Live</i> | 39 |
| <i>Tab. 10: Technické parametry Volkswagen Passat GTE</i> | 40 |
| <i>Tab. 11: Technické parametry Golf 1.2 TSI</i> | 41 |
| <i>Tab. 12: Finanční náklady Golf 1,2 TSI</i> | 42 |
| <i>Tab. 13: Technické parametry e-Golf</i> | 44 |
| <i>Tab. 14: Finanční náklady e-Golf</i> | 44 |
| <i>Tab. 15: Technické parametry Golf GTE</i> | 46 |
| <i>Tab. 16: Finanční náklady Golf GTE</i> | 47 |
| <i>Tab. 17: Ekonomické srovnání vozů při 150 000 km</i> | 48 |
| <i>Tab. 18: Srovnání technických parametrů vozidel</i> | 50 |