

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Full hybridy Tesla a Honda a jejich srovnání

vedoucí práce: Ing. Petr Řezáček Ph.D.
autor: Petr Fusek

2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr FUSEK**
Osobní číslo: **E09B0121P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Full hybridy Tesla a Honda a jejich srovnání**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Provedte

1. - rešerši typů hybridních vozů.
2. - porovnání vozů Tesla Roadster x Honda FCX Clarity.
3. - srovnání automobilu na spalovací motor, mid hybridu a dvou zmíněných full hybridů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Řezáček, Ph.D.

Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Anotace

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na hybridní pohony v automobilismu, jejich funkci a využití. Dále se zabývá vozidly Honda FCX Clarity a Tesla Roadster, jejich principem a srovnáním se spalovacími motory.

Klíčová slova

Hybridní pohon, akumulátor, rekuperace, elektromotor, Honda, Tesla

Abstract

The present thesis is focused on hybrid drives in motoring, their function and use. The work also includes cars Honda FCX Clarity and Tesla Roadster, their principle and comparing with cars with combustion engines.

Key words

Hybrid drives, accumulator, recuperation, electromotor, Honda, Tesla

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 22.5.2012

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Petru Řezáčkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

ÚVOD

Tato práce je zaměřena na hybridní pohony, jejich aplikaci a vozy Tesla Roadster a Honda FCX Clarity

Celá práce je rozdělena do pěti kapitol. V první kapitole je řešena otázka hybridních pohonů. Proč se o nich bavíme, co to ve své podstatě je, jejich varianty a koncepce. Jsou zde popsány i funkce jednotlivých částí hybridního pohonu. Druhá kapitola je věnována akumulacím prvkům a jejich vlastnostem, zejména potom superkapacitoru. Třetí kapitola pak popisuje elektromobil Tesla Roadster, jeho princip a funkce jednotlivých částí. Ve čtvrté kapitole je podobným způsobem rozebrán vůz Honda FCX Clarity. A v poslední páté kapitole je pak závěrečné srovnání již zmíněných vozů s automobily se spalovacími motory a hybridním automobilem.

OBSAH

ÚVOD	8
OBSAH	9
1 HYBRIDNÍ POHONY	10
1.1 ÚVOD	10
1.2 PROČ HYBRID.....	10
1.3 CO JE TO HYBRID	12
1.4 VARIANTY A DRUHY HYBRIDNÍCH POHONŮ.....	12
1.4.1 Druhy hybridních pohonů.....	13
1.4.2 Varianty hybridních pohonů	13
1.4.3 Přenos momentu na kola	14
1.4.4 Koncepce hybridních pohonů	15
1.4.4.1 <i>Sériový pohon</i>	15
1.4.4.2 <i>Paralelní pohon</i>	15
1.4.4.3 <i>Kombinované pohony</i>	16
1.4.4.3.1 <i>Princip planetové převodovky</i>	17
1.4.4.3.2 <i>Princip elektrického děliče výkonu</i>	17
2 AKUMULAČNÍ PRVKY	19
2.1 LI-ION.....	20
2.2 SUPERKAPACITOR	20
2.2.1 Princip superkapacitoru.....	21
2.2.2 Vlastnosti superkapacitoru	21
2.2.3 Životnost superkapacitoru	23
2.2.4 Použití v dopravní technice	23
3 ELEKTROMOBIL TESLA ROADSTER	24
3.1 ÚVOD	24
3.2 POHONNÝ SYSTÉM	25
3.2.1 Elektromotor	26
3.2.2 Napájení a nabíjení.....	27
4 ELEKTROMOBIL HONDA FCX CLARITY	29
4.1 HISTORIE.....	29
4.2 PRINCIP.....	29
4.2.1 Palivové články a napájecí systém.....	30
4.2.2 Elektromotor.....	32
5 SROVNÁNÍ.....	33
5.1 TOYOTA PRIUS.....	33
5.2 CLARITY VS. PRIUS VS. OCTAVIA.....	34
5.3 TESLA ROADSTER VS. LOTUS ELISE.....	35
ZÁVĚR	37
ZDROJE A POUŽITÁ LITERATURA	38

1 HYBRIDNÍ POHONY

1.1 Úvod

Jak už se spekuluje několik let, nikdo přesně neví, kdy dojde asi nejdůležitější nerostné bohatství, a to sice ropa. Bude to za 20 let? Za 50 nebo 100 let? Na světě jsou sice stále neobjevená ložiska, ať už pod mořem nebo třeba na Sibíři, ale jak dlouho vydrží i ta? Stále vzrůstající spotřeba ropy nutí tedy k zamyšlení, jak na tom bude lidstvo za několik let s tímto “tekutým zlatem”. Tato otázka se stále více omílá a to nutí vědce přemýšlet nad tím, jak by se tento problém dal do budoucna vyřešit. Dnes se v automobilovém průmyslu testují různé typy pohonných jednotek vozů. Vědci hledají optimální řešení, které by pro provoz automobilu přinášelo nejlepší poměr cena / výkon / úspora. V neposlední řadě se dbá také na ekologii. Cílem je u nově vynalezených pohonů splňovat přísné normy emise skleníkových plynů a stlačovat je na minimum. Dokud však nebudou hybridní pohony hojně používány i u nákladní dopravy, je sebevětší snaha o ochranu životního prostředí takřka zbytečná.

Podle současných prognóz by měla být v roce 2015 ve vozovém parku Spojených států a Japonska asi 4 procenta hybridních automobilů. V západní Evropě by se měl jejich podíl dostat k hodnotě 2 procenta. Vyřčena však nebyla pouze tato teorie. Jiné odhady počítají s čísly až trojnásobně vyššími. Snad všechny velké automobilky se snaží v závislosti na svých finančních možnostech co nejintenzivněji pracovat na vývoji hybridních vozů, to by mohlo znamenat, že v roce 2015 bude na trhu až 50 různých hybridních automobilů. [1]

1.2 Proč hybrid

Když pomineme problémy s ropou, tak největším důvodem zavedení hybridního pohonu je nízká účinnost klasických spalovacích motorů. Ta se dnes pohybuje mezi 30 až 40 procenty. Zážehové neboli benzínové motory mají účinnost na spodní hranici tohoto pásma, vznětové (naftové) motory jsou na tom lépe, ale hodnota účinnosti spalovacího motoru je dána především účinností samotného termodynamického cyklu, který je fyzikálně omezen. To v praxi znamená, že účinnost spalovacích motorů se budoucnosti nezvýší. [2]

To však není konečný problém. Vypsanych hodnot účinnosti spalovací motor dosáhne pouze za ideálních podmínek, těch se však v praxi dosáhne jen velmi zřídka. Ve finále to

znamená skutečnou účinnost motoru ještě o něco nižší. Jedním z příkladů by mohlo být, když auto stojí na křižovatce na červenou. Motor běží, spotřebovává se palivo, ale automobil nekoná žádnou práci, protože stojí na místě. [2]

V neposlední řadě je potřeba zmínit také potřebu převodovky, protože spalovací motor pracuje v relativně úzkém pásmu otáček. Každý převod mechanické síly opět snižuje účinnost. (ztráty třením) [2]

Oproti tomu elektromotory mají v dnešní době účinnost kolem 95%, a to v širokém rozsahu otáček i zatížení. Jeví se tedy jako ideální řešení. Ale existují i nevýhody v podobě hmotnosti vozidla, kterou zapříčiňují těžké akumulátory. To má vliv na dojezd, v kterém má jednoznačně navrch spalovací motor. A poslední a asi i nejdůležitější nevýhodou je doba potřebná k dobití akumulátorů. Tyto důvody vyřazují čistokrevný elektromobil ze hry. [2]

I přes toto všechno je k neuvěření, že první elektromobily se objevily již v první polovině 19. století konkrétně roku 1835, kdy profesor Sibrandus Stratingh z Groningen (Holandsko) navrhl malý elektromobil postavený jeho asistentem Christopherem Beckerem (Obr. 1.1). První spalovací motor se pak objevil až v šedesátých letech 19. století. S léty šel vývoj elektromobilů kupředu, ale problémem byl právě způsob uchování elektrické energie. Tehdy se používaly olověné akumulátory. Tehdejší akumulátory však byly neúměrně drahé a těžké vzhledem k výkonu, který poskytovaly. Právě svou vahou a malou kapacitou zmenšovali využitelnost elektromobilů. Kapacita akumulátorů neumožňovala dojezd vozidla dále než do vzdálenosti 70 kilometrů. Pokud na konci trasy nebyla příslušná stanice na dobíjení nebo výměnu čerstvých akumulátorů, pak se akční rádius snížil na polovinu. A např. vůz francouze Jeantauda vážil 1300 kg a z toho 950 kg měly jen akumulátory. [3][4][5]

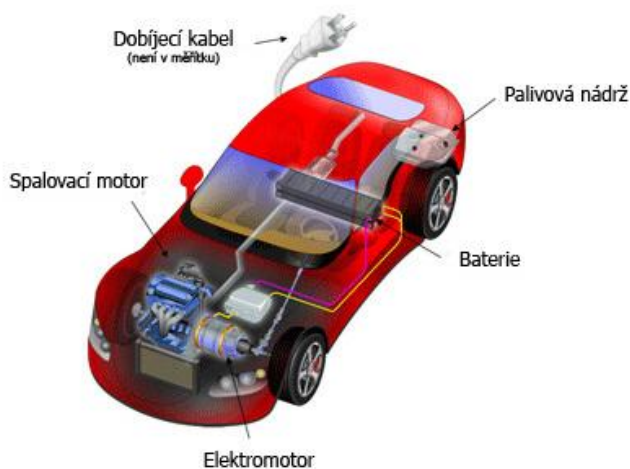


Obr. 1.1 První elektromobil z roku 1835
(převzato z [6])

Spalovací motory nebyly do té doby dostatečně spolehlivé a obsluha vozidel s nimi byla složitá a někdy i namáhavá (např. o startování klikou), a tak se veřejnost upírala na elektromobily. Zvrat přišel, až když konstruktér Henry Ford přišel se svým modelem T, který byl spolehlivý a proti elektromobilu levný. [3]

1.3 Co je to hybrid

Označení hybrid nebo hybridní pohon znamená kombinaci několika (dvou a více) zdrojů energie pro pohon automobilu. V automobilismu se tím nejčastěji myslí spojení klasického spalovacího motoru s elektromotorem, tzv. HEV – Hybrid Electric Vehicle (Obr. 1.2). U hybridního pohonu nemusí být spalovací motor mechanicky spojen s koly, tzn., že může ve voze splňovat funkci generátoru elektrické energie. Pak může spalovací motor pracovat v optimálních otáčkách a pohánět elektromotory a dobíjet akumulátory. Toto spojení je již léta využíváno v diesel-elektrických lokomotivách. [2]



Obr. 1.2 HEV – hybridní elektrický automobil (převzato z [2])

1.4 Varianty a druhy hybridních pohonů

Hybridy lze rozdělit podle několika různých kritérií. V následujících kapitolách jsou popsány typy podle součástí hybridní soustavy, podle úrovně (varianty) hybridu, podle technického řešení přenosu momentu na kola a podle koncepce propojení spalovacího motoru s elektromotorem.

1.4.1 Druhy hybridních pohonů

Dnes se testují a vyvíjejí tyto druhy hybridních pohonů:

- 1) Spalovací motor + elektromotor + akumulátor
- 2) Spalovací motor + elektromotor + externí přívod el. energie (trolej)
- 3) Spalovací motor + setrvačnick
- 4) Plynová turbína + generátor + akumulátor + elektromotor
- 5) Lidská síla + elektromotor (Twike nebo elektrokola) [7]

1.4.2 Varianty hybridních pohonů

Hybridní pohony se dělí také podle úrovně “hybridizace“, tzn., jak moc pomáhá elektromotor spalovacímu nebo naopak.

- 1) Micro hybrid
- 2) Mild hybrid
- 3) Full hybrid [1]

Micro hybrid ve své podstatě ani hybridní automobil není, protože má pouze jeden typ pohonu, a to sice klasický spalovací motor, který je doplněn o motorgenerátor. Ten splňuje funkci startéru a alternátoru. Tyto pohonné jednotky jsou pak základem vozů se systémem “Stop&Start”, který vypíná motor v případě jeho nepotřeby. (krátké zastavení, křižovatky) [1]

U Mild hybridu se jedná o klasické spojení spalovací motor – elektromotor. Elektromotor v této koncepci však nemá dostatečný výkon na to, aby mohl automobil pohánět zcela sám. Tudíž je vozidlo poháněno spalovacím motorem a elektromotor vypomáhá při rozjezdech, akceleraci nebo brzdění. Tato varianta je v podstatě mezistupeň mezi Micro hybridem a Full hybridem. [1]

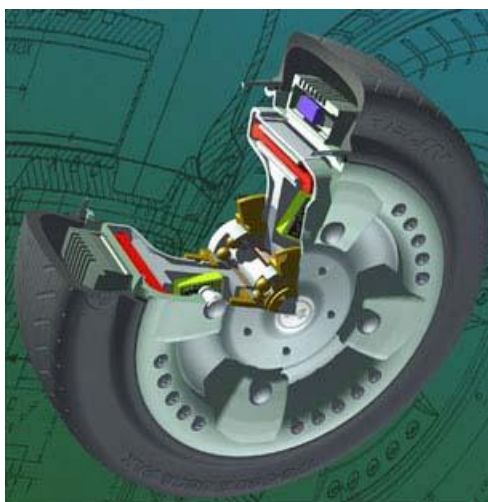
Full hybrid už je plnohodnotný hybridní automobil, který je schopný pohybovat se pouze za použití elektrické energie. Tyto vozy mají silný elektromotor, který se při jízdě obejde bez klasického spalovacího. To v praxi znamená nulové emise. Elektromotor je napájen z akumulátorů nebo vodíkových článků. Vozidlo však může obsahovat i spalovací motor, který je použit při vybití akumulátorů, buď přímo jako pohonná jednotka vozidla

anebo pro dobíjení vybitých akumulátorů. V tomto případě je spalovací motor použit pouze pro dobíjení, tudíž pohon a pohyb vozidla zajišťuje stále elektromotor. [1]

1.4.3 Přenos momentu na kola

Dnešní koncepty hybridních pohonů stále ještě preferují pevné spojení spalovacího motoru a kol. Je potřeba použití diferenciálů a převodovek. Elektromotor spíše jen vypomáhá v určitých situacích, kdy je vhodné spalovací motor vypnout. Např. při popojíždění v zácpě nebo ve městě. Ve své podstatě se jedná o již zmíněné Mild hybridy. [2]

Naopak uspořádání bez mechanického spojení elektromotoru s koly má výhodu v podobě absence převodovky a diferenciálu. Dnešní elektrické trakční motory jsou totiž schopné pracovat v širokém rozsahu otáček s vysokou účinností a dostatečným kroutícím momentem již od nulových otáček. Při použití dvou motorů odpadá i diferenciál, protože kola nejsou vzájemně mechanicky spojena. Takovýmto způsobem by šel realizovat i náhon na všechna čtyři kola, bez složitých diferenciálů. Jestliže uvažíme účinnost soukolí se šikmými zuby, která je asi 98%, a účinnost ložisek (99,5%), tak můžeme říci, že každé zjednodušení je jen k dobru. Největší výhodou je, že spalovací motor pracuje v ideálních otáčkách s nejvyšší účinností. Takovýmto umístěním elektromotoru do kola (Obr. 1.3) a odstraněním nyní už zbytečných diferenciálů a převodovky získáme další prostor pro posádku a zavazadla. Je zde ale i stinná stránka věci a to je zvýšení hmotnosti neodpružených částí vozu a to má vliv jak na komfort a pohodlí, tak v první řadě hlavně na životnost součástí podvozku. [2]

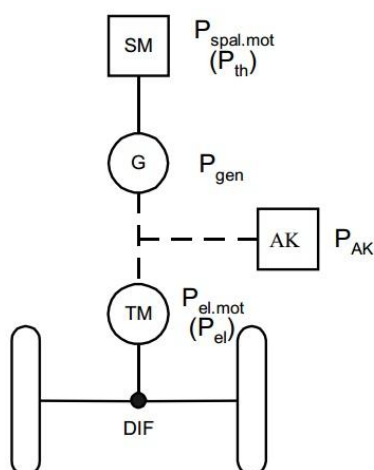


Obr. 1.3 Elektromotor v kole (převzato z [2])

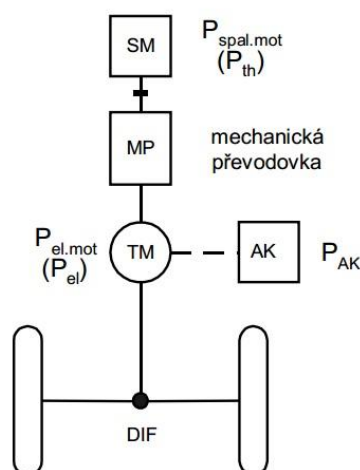
1.4.4 Koncepce hybridních pohonů

1.4.4.1 Sériový pohon

Existují 3 základní koncepce hybridních pohonů. Prvním typem je sériový. (Obr. 1.4) U nich je spalovacím motorem (SM) poháněn generátor (G), který napájí trakční motor (TM), popřípadě akumulační prvek elektrické energie (AK), což mohou být akumulátory či superkapacitory. V případě absence akumulátoru se jedná o běžně používaný pohon v lokomotivách. U tohoto typu se nastaví pracovní bod spalovacího motoru do nejefektivnější části charakteristiky, což v praxi znamená, co nejvyšší výkon při pokud možno maximální účinnosti. Vzhledem ke ztrátám při přeměnách v obou elektrických strojích má tato koncepce nižší účinnost. [8]



Obr. 1.4 Sériový pohon (převzato z [8])



Obr. 1.5 Paralelní pohon (převzato z [8])

(SM – spalovací motor, G – generátor, TM – trakční motor, AK – akumulátor, DIF – diferenciál)

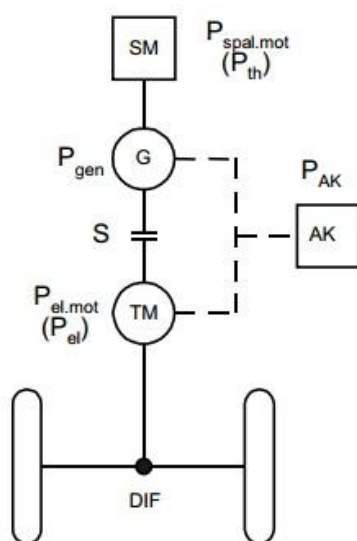
1.4.4.2 Paralelní pohon

Druhé v pořadí jsou paralelní pohony (Obr. 1.5), ty jsou v základě tvořeny klasickým přenosem výkonu jako u běžných konvenčních automobilů, tedy ze spalovacího motoru přes převodovku a diferenciál na kola. Trakční motor se nachází buď mezi motorem a převodovkou, nebo na výstupní hřídeli z převodovky. Výhoda spočívá ve zlepšení účinnosti spalovacího motoru vhodnou volbou pracovního bodu trakčního motoru. Spalovací motor je nadále pevně vázán na kola vozu. Úspora se tedy docílí v momentech, kdy spalovací motor vyvíjí větší výkon než je potřeba a dobíjí pomocí elektrického stroje akumulátor elektrickou

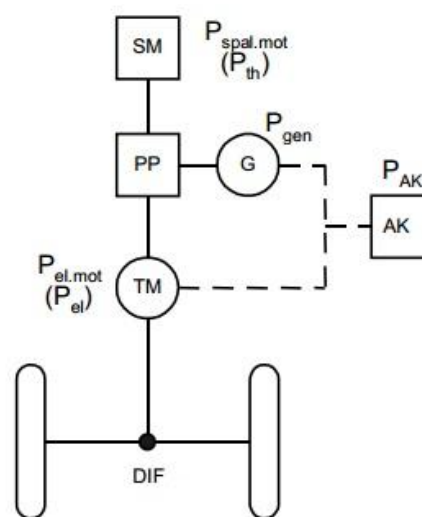
energií. Ta je pak zpětně využívána k pohonu vozidla (např. akceleraci v případě potřeby vyššího výkonu). Drobnou nevýhodou je menší účinnost elektrické části. [8]

1.4.4.3 Kombinované pohony

Poslední koncepcí jsou kombinované pohony, které se ale ještě dělí na dvě podskupiny, a to sice na přepínatelné a na pohony s dělením výkonu. Přepínatelné pohony (Obr. 1.6) obsahují spojku S, pomocí které můžeme přepínat pohon na čistě sériový nebo paralelní. Při potřebě vyššího výkonu je spojka sepnuta a vozidlo jede na paralelní pohon, v případě, že nám stačí nižší výkon, se spojka rozpojí a pohon je v sériovém režimu. U pohonů s dělením výkonu (Obr. 1.7) se jako dělič používá diferenciální planetová převodka (PP) (Obr. 1.8), která má 2 stupně volnosti, což znamená, že dělí výkon spalovacího motoru na část, která se mechanicky přenáší na kola, a na část, která pohání generátor. Ten pak dle potřeby dobíjí akumulární prvek, nebo napájí trakční motor, jenž je opět mechanicky spojen s hnacími koly vozidla. V tzv. nadsynchronním režimu je funkce obou elektrických strojů zaměněna a trakční motor pak splňuje funkci generátoru a dobíjí akumulární prvek nebo napájí druhý elektrický stroj. Jako děliče výkonu se dají použít elektrické stroje s rotujícím rotorem i statorem. Výhodou tohoto uspořádání pohonu je, že spalovací motor může pracovat v optimálním pracovním bodě, dále poté snížení ztrát oproti sériovému uspořádání. [8] [9]



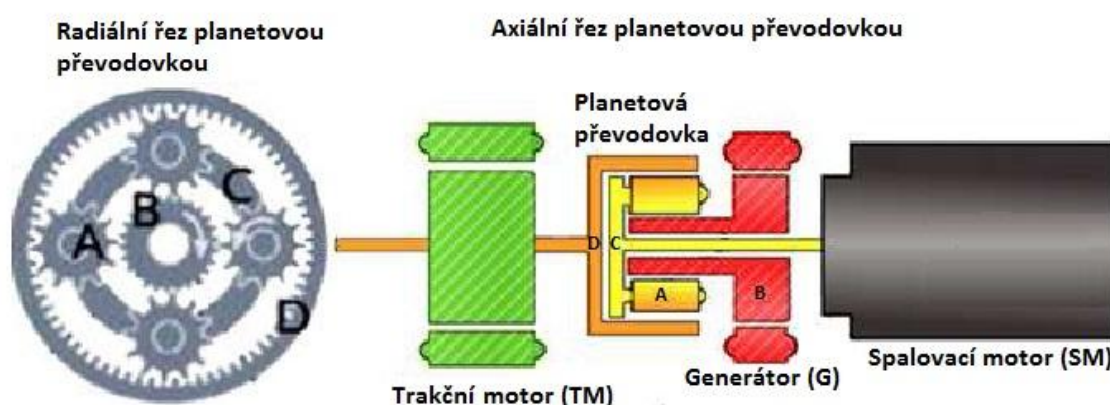
Obr. 1.6 Přepínatelný pohon
(převzato z [8])



Obr. 1.7 Pohon s dělením výkonu
(převzato z [8])

1.4.4.3.1 Princip planetové převodovky

Princip planetové převodovky je poměrně jednoduchý. Základem principu je rozdělení výkonu ozubenými převody pomocí jednotlivých prstenců, mezikruží a planetových kol na základě rozdílné obvodové rychlosti jednotlivých elementů převodovky. Na obr. 1.7 je vyobrazen princip této převodovky. Spalovací motor točí hřídel C procházející dutým rotorem generátoru, a tím se roztáčí planetová kola A, která následně přenášejí moment na rotor generátoru B a hřídel D spojenou s rotorem trakčního motoru. [10]

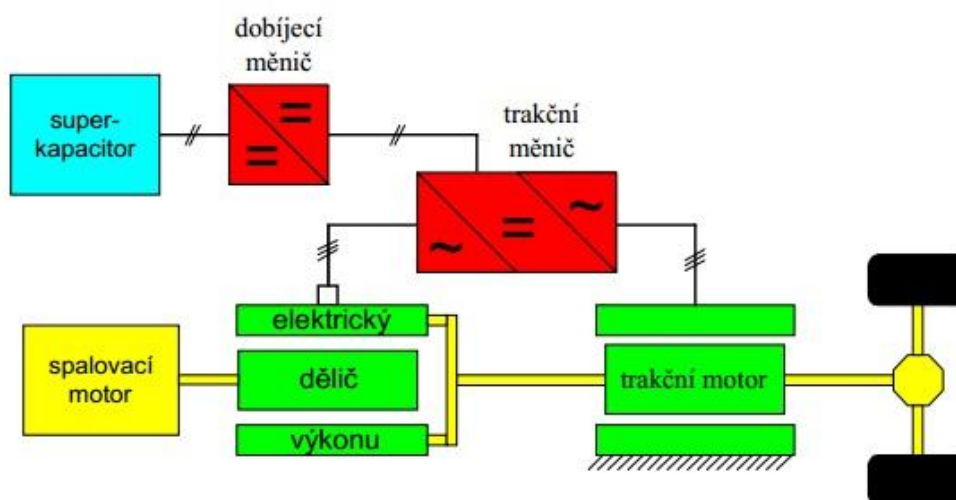


Obr. 1.8 Princip planetové převodovky (převzato z [10])

1.4.4.3.2 Princip elektrického děliče výkonu

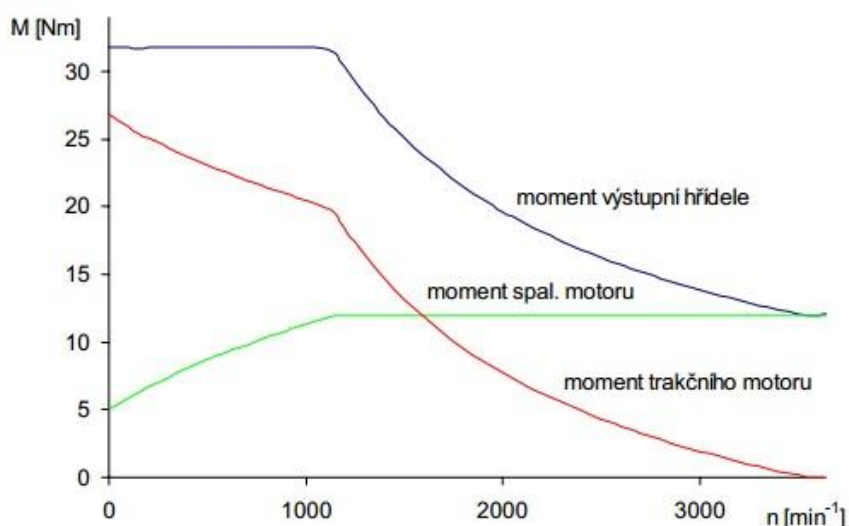
V případě elektrického děliče (Obr. 1.9) je dělič tvořen speciálním elektrickým strojem s rotujícím rotorem i statorem, přičemž rotor je pomocí hřídele spojen se spalovacím motorem a působením elektromagnetických sil přenáší moment na stator. Rotující stator pak přenáší moment na trakční motor. Momenty spalovacího motoru a hnací síly trakčního motoru se pak sčítají. Při nulové rychlosti vozidla, tedy při rozjezdu se celý výkon spalovacího motoru přemění na elektrickou energii, kterou je napájen trakční motor. Tento případ odpovídá funkci sériového hybridního pohonu s rozdílem, že moment na výstupní hřídeli trakčního motoru je vyšší o moment spalovacího motoru. Při rozjezdu vozidla pak začnou klesat otáčky mezi rotorem a statorem děliče, a tím pádem se snižuje elektrický výkon děliče a tudíž i trakčního motoru. Zbytek výkonu spalovacího motoru se přenáší na rotor trakčního motoru a tím pádem i výstupní hřídel. S dalším nárůstem rychlosti se zvyšuje část

výkonu, která je přenášena mechanicky, zatímco elektrická část výkonu k tomu úměrně klesá. To snižuje ztráty v elektrických strojích. [8]



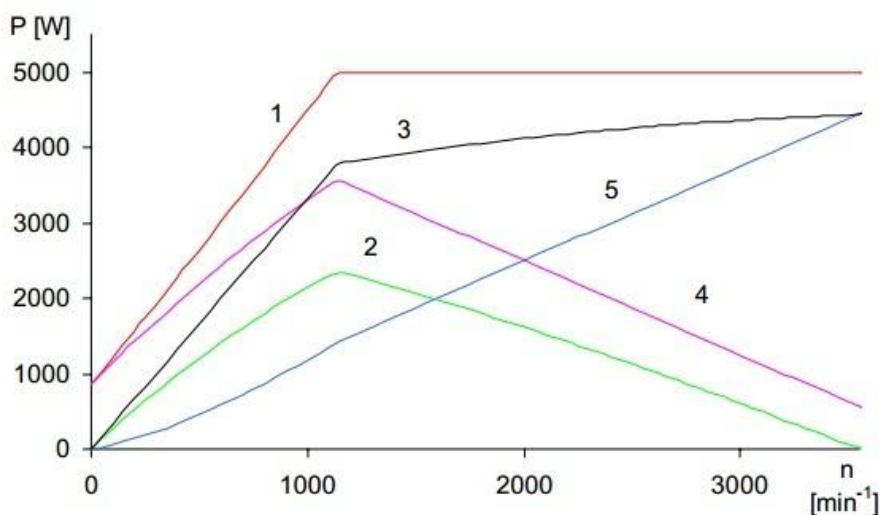
Obr. 1.9 Princip elektrického děliče (převzato z [5])

Na obrázku č. 1.10 jsou vyobrazeny momenty spalovacího motoru, trakčního motoru a moment výstupní hřídele automobilu s elektrickým děličem výkonu. Otáčky a moment spalovacího motoru jsou v oblasti nízkých rychlostí záměrně snižovány, aby nebyla překročena mez adheze hnacích kol vozu a nedošlo k jejich prokluzu (protočení). [8]



Obr. 1.10 Momenty automobilu s elektrickým děličem výkonu (převzato z [8])

Na obrázku č. 1.11 jsou vyobrazeny výkony vozidla s elektrickým děličem výkonu. Pod číslem (1) se skrývá výkon spalovacího motoru, který se přivádí na elektrický dělič, který převede jednu část výkonu na elektrickou energii (4), a druhou část výkonu přeneše mechanicky na výstupní hřídel (5). Vygenerovaná elektrická energie (4) se pak využívá jako příkon trakčního motoru s průběhem výkonu (2). Jak bylo popsáno v předminulém odstavci, je poměr mechanický / elektrický přenášený výkon závislý na otáčkách motoru. V nízkých otáčkách se přenáší výkon hlavně elektricky pomocí trakčního motoru. S narůstajícími otáčkami klesá výkon přenášený elektricky (2) a stoupá výkon, který je přenášen mechanicky (5). Výsledný výkon na výstupní hřídeli (3) je dán součtem výkonu přenášeného elektricky (2) a mechanicky (5). [8] [9]



Obr. 1.11 Výkony vozidla s elektrickým děličem výkonu (převzato z [8])

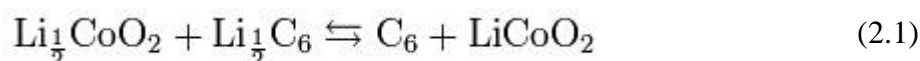
2 AKUMULAČNÍ PRVKY

Akumulace elektrické energie je neméně podstatnou částí jak hybridních pohonů, tak i elektromobilů. Doposud se automobiloví výrobci spokojili s klasickými elektrochemickými akumulátory. Bohužel je tato metoda uchování energie u elektromobilů nedostatečná. Příčinou je nízká objemová hustota oproti klasickým palivům, a dále dlouhá doba chemického procesu bránící takřka okamžitému pojmání velkého množství energie. To má za následek malý dojezd vozidel s elektropohonem. I přes vývoj tohoto odvětví a zlepšení některých parametrů (Ni-MH, Li-Ion, Li-Pol akumulátory) je doba pojmání energie stále dlouhá a účinnost energetické přeměny nízká. Dalším neméně podstatným záporem je životnost

baterie, která je vzhledem k životnosti vozu velmi malá, a tak by musela být časem vyměněna. Toto všechno má za následek to, že výrobci automobilů dávají přednost výrobě hybridních pohonných jednotek oproti čistokrevným elektromobilům. Další možností uložení energie je setrvačnický, který ukládá energii kinetickou. Zde je problém s účinností. Řešením se zdá až nově objevený superkapacitor. [10] [11]

2.1 Li-Ion

Lithium-iontová baterie (zkráceně Li-Ion) je druh nabíjitelné baterie, která se běžně používá ve spotřební elektronice hlavně u přenosných zařízení. Důvodem je vysoká hustota energie vzhledem k objemu baterie. V automobilovém průmyslu se téměř nevyskytuje, Tesla Roadster a Honda FCX jsou výjimkou. Anoda baterie je vyrobena z uhlíku, katoda je oxid kovu a elektrolytem je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Princip baterie je popsán následující chemickou rovnicí (2.1). [12]



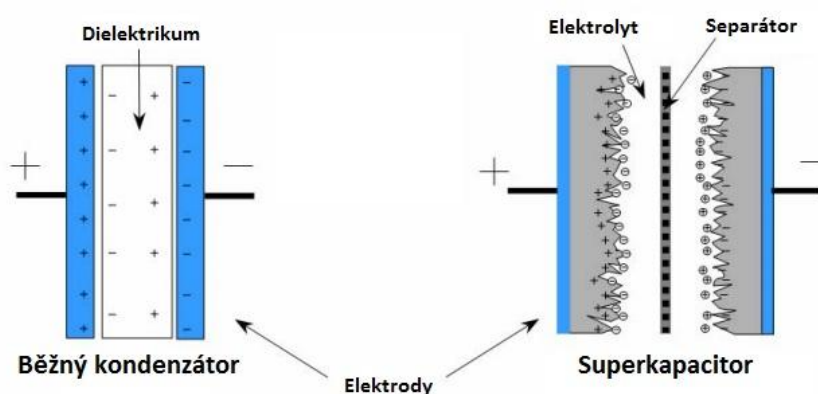
Mezi hlavní výhody tohoto typu akumulátoru patří velmi vysoká hustota energie – 200 Wh/kg, 530 Wh/l – třikrát vyšší hodnota než starší typy jako Ni-MH. Tím pádem může být baterie vyrobena s relativně vysokou kapacitou a malým objemem a hmotností. Téměř žádné samovybití (do 5 %). Nemá paměťový efekt. Vysoké nominální napětí 3,7 V a životnost 500–2000 nabíjecích cyklů. [12]

2.2 Superkapacitor

Superkapacitor řeší problémy s rychlostí příjmu/výdeje energie. Princip uchování energie spočívá na principu polarizovaného dielektrika, tedy elektrostatického pole. Touto zásluhou disponuje téměř okamžitým příjmem/výdejem energie na rozdíl od klasických akumulátorů. Rychlost výdeje energie je dána i menším vnitřním odporem superkapacitoru než mají akumulátory. [11]

2.2.1 Princip superkapacitoru

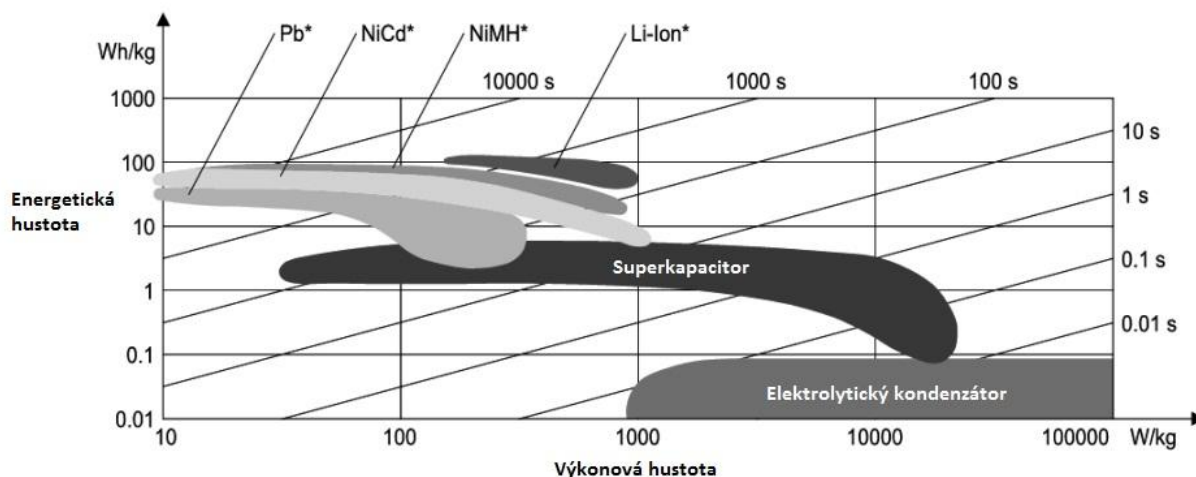
Superkapacitor je tvořen elektrodami z hliníkové fólie, separátorem a aktivním uhlíkem, jenž je ve formě prášku tvořen velmi malými částicemi. (Obr. 2.2) Tyto částice vytvářejí v celém objemu pórovitý povrch, jehož plocha je obrovská (až 2000m^2 na 1 gram prášku). Aktivní uhlík tvoří uhlíkový aerogel, což je pevný materiál s nízkou hustotou, ve kterém je tekutá složka gelu nahrazena vzduchem. Alternativním materiálem jsou uhlíkové polymery a do budoucna se počítá s uhlíkovými nanotrubicemi, které ještě zvyšují povrch částic. Separátor (polypropylenová folie) odděluje obě elektrody, které jsou obklopeny tekutým elektrolytem nebo ve formě gelu. Tloušťka dielektrika se pohybuje řádově kolem 1nm. Vzhledem ke kombinaci tenké dvouvrstvy a obrovské plochy bylo docíleno velké schopnosti vázat náboj a tudíž i velké kapacity při malém odporu. Jistou nevýhodou je nízké provozní napětí (2,3 V - 2,7 V) kvůli možnému průrazu. Při užívání vyšších napětí je zapotřebí řadit superkapacitory do série s použitím ochranných balančních obvodů. [11]



Obr. 2.2 Struktura běžného kondenzátoru a superkapacitoru (převzato z [14])

2.2.2 Vlastnosti superkapacitoru

Superkapacitor můžeme vzhledem k jeho vlastnostem zařadit mezi akumulátor a klasický elektrolytický kondenzátor. Jak lze vidět na grafu (Obr. 2.3) dosahuje superkapacitor vyšší energetické hustoty než elektrolytický kondenzátor a vyšší výkonové hustoty než klasický akumulátor. Energetická hustota oproti akumulátoru je však stále několikrát nižší. V tabulce 2.1 a 2.2 jsou pak vlastnosti superkapacitoru vyčísleny. [11]



Obr. 2.3 Porovnání různých zdrojů el. energie s ohledem na měrnou energii a výkon (převzato z [13])

Tab. 2.1 Vlastnosti olověného akumulátoru, superkapacitoru a elektrolytického kondenzátoru [14]

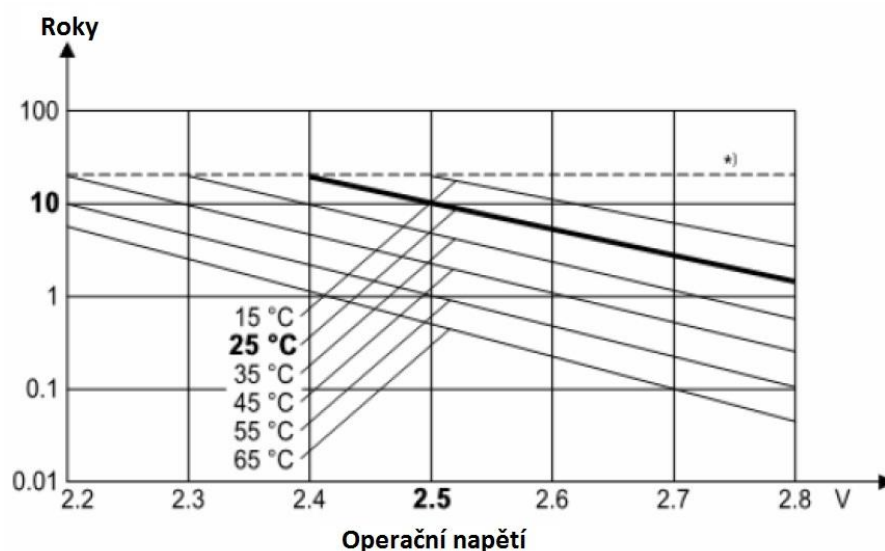
	Olověný akumulátor	Superkapacitor	Elektrolytický kondenzátor
Nabíjecí doba	1 až 6 h	0,3 až 30 s	10-3 až 10-6 s
Vybíjecí doba	0,3 až 3 h	0,3 až 30 s	10-3 až 10-6 s
Energetická hustota [Wh/kg]	10 až 100	1 až 10	< 0,1
Výkonová hustota [W/kg]	< 1 000	< 10 000	< 100 000
Počet cyklů	1 000	> 500 000	> 500 000
Účinnost	0,7 až 0,85	0,85 až 0,98	> 0,95

Tab 2.2 Srovnání vlastností běžných akumulátorů a superkapacitoru [15]

Akumulátor	Hustota energie [Wh/kg]	Počet nabíjecích cyklů	Samovybíjení [%/měsíc]	Výhody	Nevýhody
NiCd	50	1000	25	Levné, široký teplotní interval	Jedovaté, paměťový efekt
NiMH	70	700	15	Vyšší kapacita, nejedovaté	Citlivé na vysoké teploty, dražší
Li-Ion	Až 150	500	10	Rychlé nabití, bez paměťového efektu	Drahé, citlivé na přehřátí a přebití, bezpečnost
Li-Pol	Až 180	500	10	Velmi lehké, tvarovatelné	Drahé, citlivé na přehřátí a přebití
Pb	10	1000	20	Levné	Hmotnost
Super kondenzátor	Až 10	1000000	0.01	Až 10 kW/kg, účinnost 98%, sekundové nabití	„Nízká“ kapacita, ale překotný vývoj

2.2.3 Životnost superkapacitoru

Životnost superkapacitoru je v porovnání s akumulátory daleko vyšší. Výrobci uvádějí až 1 milión nabíjecích/vybíjecích cyklů. I po dosažení této hranice však superkapacitor neztrácí svoji funkčnost, pouze se zhorší jeho vlastnosti (snížená kapacita, zvýšený vnitřní ekvivalentní sériový odpor ESR). Vlivem cyklického nabíjení a vybíjení se snižuje kapacita a zvyšuje vnitřní odpor. Konec životnosti je definován pro pokles jmenovité kapacity o 20 % nebo zvýšení vnitřního odporu o 100 %. Dalším faktorem, který ovlivňuje kapacitu a ESR superkapacitoru, je teplota a provozní napětí. Udávaná životnost (až 10 let) platí pro teplotu superkapacitoru 25 °C, každým dalším zvýšením teploty o 10 °C se životnost snižuje na polovinu, jak je vidět na obrázku 2.4. [11]

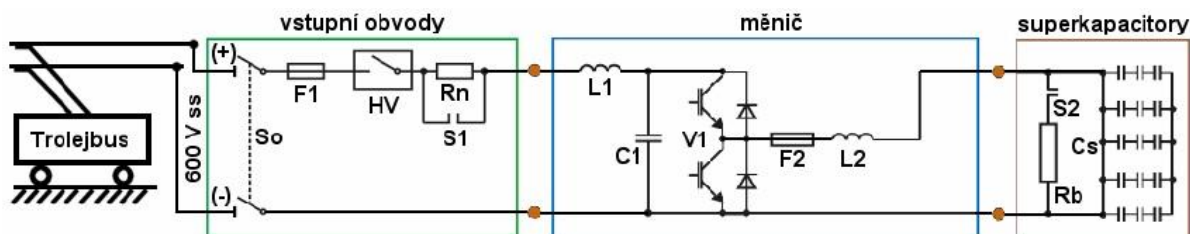


Obr. 2.4 Životnost superkapacitoru (převzato z [14])

2.2.4 Použití v dopravní technice

Vzhledem k vlastnostem popsaným v kapitolách výše je možné ho využít právě v oblasti dopravy, kde dochází k předávání energie mezi vozidlem a vedením a v určitém okamžiku eventuelně k jejímu maření (elektrodynamické brzdění). Moderní vozidla elektrické trakce dokáží kinetickou energii při brzdění přeměnit zpět na energii elektrickou a vracet ji v dostatečné kvalitě zpět do trakční sítě. U stejnosměrného systému to má však jednu důležitou podmínku a to sice, že bude rekuperovaná energie ihned spotřebovávána v jiném vozidle nebo u střídavé trakce navracena zpět do rozvodné sítě. To je často obtížně splnitelné a tato energie

se maří v brzdách. Nabízí se tedy možnost akumulovat rekuperovanou energii v okamžiku, kdy nemůže být spotřebována. Právě k tomuto je vhodný superkapacitor. Použití superkapacitorů v napájení stejnosměrného systému (tramvaje, trolejbusy, kolejová žel. vozidla ss trakce) je znázorněno na obrázku 2.5. Uložená energie v superkapacitoru se dodá v okamžiku velkého odběru (rozjezdu). [11]



Obr. 2.5 Použití superkapacitoru u trolejbusu (převzato z [11])

V trolejbusové dopravě se nabízí dvě alternativy: Závislé vozidlo s pevnými napájecími body na zastávkách, kde vozidlo s elektrickým pohonem naakumuluje potřebnou energii do superkondenzátoru (spojení na energetický zdroj buď inдукtivní cestou nebo kontaktním spojením) a prostřednictvím regulační výkonové elektroniky odčerpává energii z kondenzátoru. Druhou možností je polozávislé vozidlo. Zde by se jednalo o obsluhu koncových nezátrolejovaných úseků, kde z troleje si během jízdy vozidlo naakumuluje potřebnou energii na požadovaný akční rádius. [11]

3 ELEKTROMOBIL TESLA ROADSTER

3.1 Úvod

Již mnoho firem se pokoušelo vytvořit praktický elektromobil, který by se alespoň trochu přiblížil klasickým vozům. Až do roku 2008 se však nikomu nepodařilo, aby se jízdní výkony a dojezd vozidla daly srovnávat s běžným spalovacím motorem. Až přes 80 let působící firma Tesla přišla právě v roce 2008 na trh s historicky prvním sportovním vozem, který nevypustí z výfuku ani gram CO₂. Tím je elektromobil Tesla Roadster (Obr 3.1). [16] [17]

Ten je postaven na podvozkové platformě Lotusu Elise, nosníky jsou z hliníku a ručně vyráběná karoserie je z karbonu kvůli kompenzaci velké váhy baterií (cca 450 kg). I tak je celková hmotnost vozidla úctyhodných 1235 kg. [16] [17]

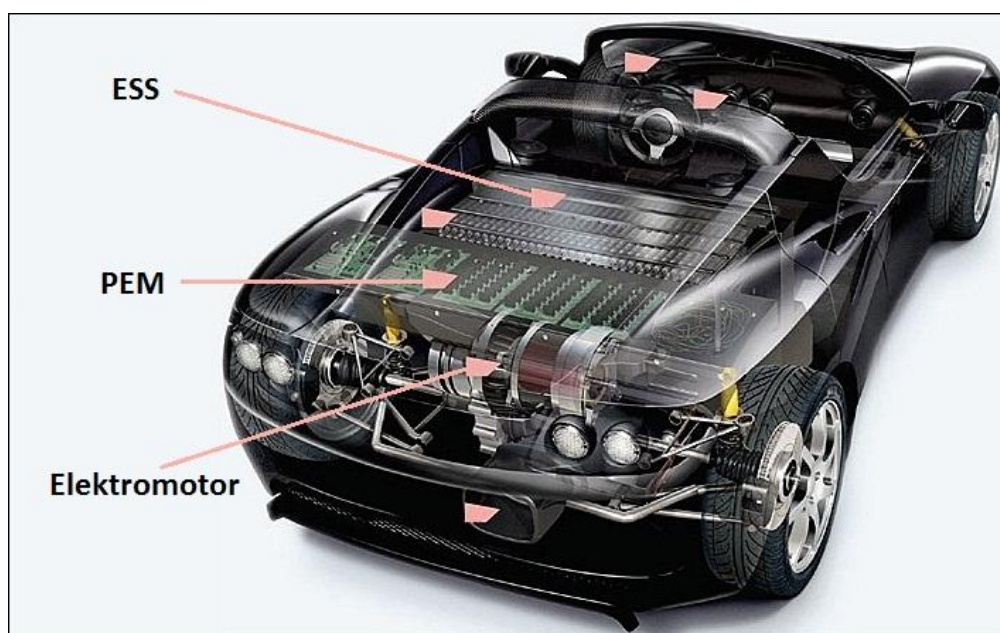


Obr. 3.1 Tesla Roadster (převzato z [18])

3.2 Pohonný systém

Celý pohonný systém elektromobilu Tesla Roadster je vyobrazen na obrázku 3.2 a skládá se z následujících částí:

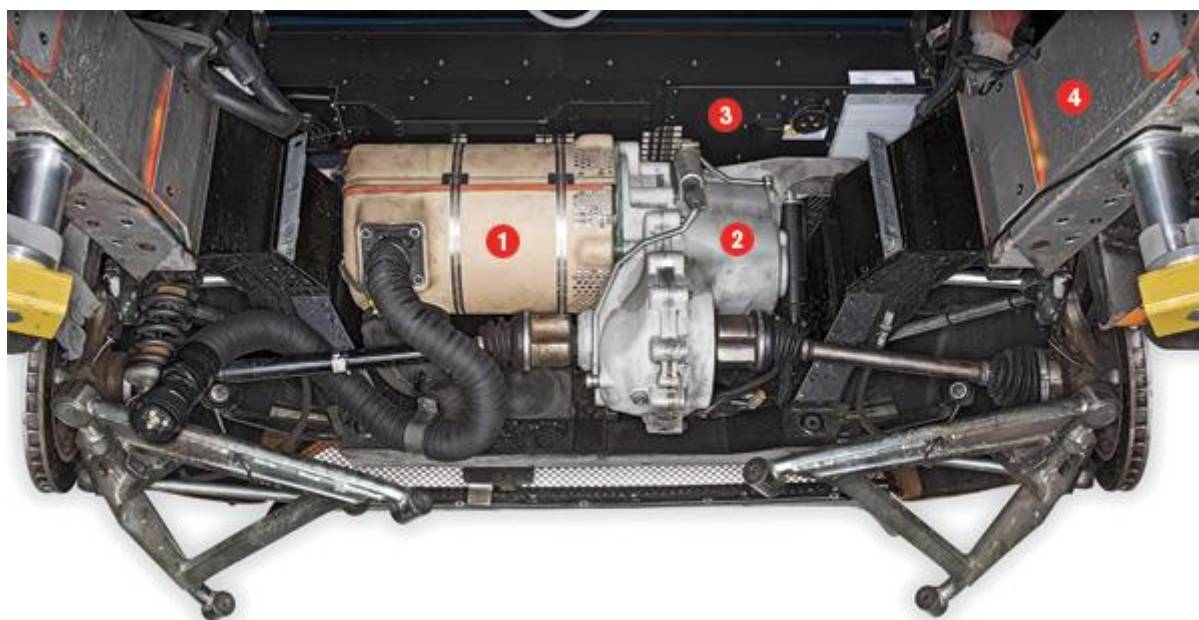
- 1) Super-akumulátor ESS (Energy Storage System)
- 2) Měnič a jednotka řízení napájení PEM (Power Electronics Module)
- 3) Výkonný elektromotor a 3rychlostní sekvenční ruční převodovka [16]



Obr. 3.2 Pohonný systém vozu (převzato z [19])

3.2.1 Elektromotor

“Pod kapotou” tohoto sportovního vozu se nachází velký asynchronní motor o maximálním výkonu 185 kW a kroutícím momentu 370 Nm (Obr. 3.3) vážící zhruba 32 kg. Ten je umístěn nad zadní nápravou a díky němu dokáže vůz zrychlit z 0 na 100 km/h během 4 sekund a maximální rychlost přesahuje 200 km/h. Konkrétně se jedná o třífázovou čtyřpólovou konstrukci s plnou elektronickou regulací otáček. Motor poskytuje velký točivý moment s téměř plochou charakteristikou skoro od nulových otáček. Hlavní rozdíl a obrovská výhoda elektromobilů je, že není nutné používat převodovku, a to sice vůbec nebo jen jednoduchou v podobě např. dvourychlostní. Další výhodou jsou velký rozsah otáček, kdy elektromotor zvládne točit i přes 13 000 otáček/min, což umí jen závodní spalovací motory. Dále pak výrazně vyšší účinnost (až 2.18 km/MJ = 458,7 kJ/km) [16] oproti benzínu, který má účinnost cca 43 MJ/km (0,023 km/MJ = 23 m/MJ). [20] Automobil má prakticky okamžitou reakci na stisk plynového pedálu a skoro absolutní tichost běhu. Průměrná spotřeba elektrické energie je přitom 110 Wh/km, i když při prudké akceleraci je příkon až 200 kW. Navíc rozjezd je velice plynulý, a v případě že je spuštěné rádio a cestující v autě je do něčeho zabrán, ani si nemusí všimnout, že se rozjel. [16] [17]



Obr. 3.3 Pohonné ústrojí (1 – elektromotor, 2 – převodovka, 3 – PEM, 4 – prázdné místo pro bateriový box ESS) (převzato z [19])

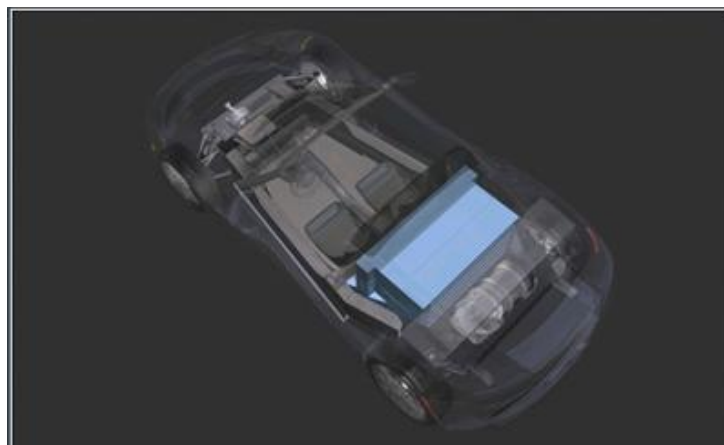


Obr. 3.4 Řazení v interiéru vozu Tesla Roadster
(převzato z [16])

Taková charakteristika motoru vylučuje potřebu náročné převodovky. Tesla Roadster využívá třírychlostní převodovku (Obr. 3.4), kde jsou dvě rychlosti pro pohyb dopředu a jedna pro pohyb vzad. Převodovka je manuální, ale neobsahuje spojku. To znamená, že odpadá možnost poruchy spojky nebo její prokluzování. [16]

3.2.2 Napájení a nabíjení

Uchování elektrické energie a tedy i velikost dojezdu vozu obstarává systém ESS (Energy Storage System) (Obr. 3.5), což je sada baterií. Zatímco vývojáři a inženýři ostatních firem se pokoušejí vyvinout nějaký skvělý akumulární prvek, firma Tesla použila technologii, která se využívá u napájení notebooků, tedy lithium-iontové (Li-Ion) baterie. Princip lithium-iontové baterie je popsán v kapitole "Akumulační prvky" Tesla Roadster obsahuje 6 831 článků průměru 18 mm a délky 65 mm. Ty jsou umístěny v 11 sekcích po 621 bateriích, přičemž každý sektor je řízen jedním procesorem, který řídí jeho "hladké" nabíjení a vybíjení. Životnost celého systému je podle výrobce přes 160 000 km a až 7 let. Celková hmotnost tohoto systému je úctyhodných 450 kg a má kapacitu 53 kWh. Ta má zaručit dojezd až 400 km. [16] [17] [18]



Obr. 3.5 Systém ESS (modře zvýrazněn) (převzato z [16])

Další modul, který byl zmíněn ve výčtu částí obstarávajících pohon vozidla je PEM (Power Electronics Module). Ten je úzce spřažen s jednotkou ESS. PEM je v podstatě výkonový měnič a nabíjecí systém, který převádí stejnosměrné napětí, jenž poskytují baterie, na klasických 12 V stejnosměrného napětí potřebného pro elektroniku vozu a dále na střídavé napětí 375 V, kterými se napájí elektromotor. K tomu se využívá 72 IGBT výkonových tranzistorů (Insulated Gate Bipolar Transistors). Ty jsou velice namáhány zejména při akceleraci vozu, kdy odběr elektromotoru dosahuje až 200 kW. To má za následek velké množství vyzářeného tepla jak z měniče, tak z baterií, což se dá považovat za jednu z hlavních nevýhod tohoto automobilu. Někteří lidé dokonce tvrdí, že právě kvůli tomuto problému je vozidlo navrženo jako roadster a ne jako uzavřená karoserie. Modul PEM reguluje velikost napětí, frekvencí řídí rychlost (počet otáček/min) a točivý moment motoru. Dále provádí nabíjení a rekuperaci přebytečné pohybové energie (například při jízdě z kopce nebo při brždění), kterou převádí na energii elektrickou a ta následně dobíjí Li-Ion baterie. Celková účinnost systému, tzn. elektromotoru s PEM a ESS je 85 až 95% a poskytuje autu výkon až 185 kW. [16]

Nabíjet baterie lze dvěma způsoby. Prvním způsobem je nabíjení pomocí speciální elektrické síťové přípojky (Obr. 3.6) se střídavými 230 V. Ta musí být schopna dodat až 70 A a pak následné nabíjení trvá asi 3 a půl hodiny. Druhou možností je nabíjení za pomoci nabíjecího kitu, který se dá připojit na klasickou elektrickou zásuvku na 230 V. Nabíjecí doba je u tohoto řešení však mnohonásobně delší a to až 16 hodin. Z pohledu bezpečnosti je celý systém navržen tak, aby ani přehřátí kterékoliv baterie nebo mechanický náraz nezpůsobil explozi baterií, které k tomu jinak mají sklon. I to je důvod, proč je také celý ESS složen z tolika malých jednotlivých článků, protože porucha nebo problém jedné takto malé jednotky způsobí méně škody a problémů než větší verze článku. Každý článek má navíc vlastní odporový teplotní snímač (PTC termistor), který je připojený na procesorovou řídicí jednotku, jejíž primární úlohou je zjistit případný zkrat. Druhým stupněm ochrany je modul CID (Current Interrupt Device). Ten kontroluje vnitřní tlak uvnitř každého článku a v případě nebezpečného přetlaku článek automaticky odpojí. [16]



Obr. 3.6 Speciální nabíjecí přípojka (převzato z [16])

4 ELEKTROMOBIL HONDA FCX CLARITY

4.1 Historie

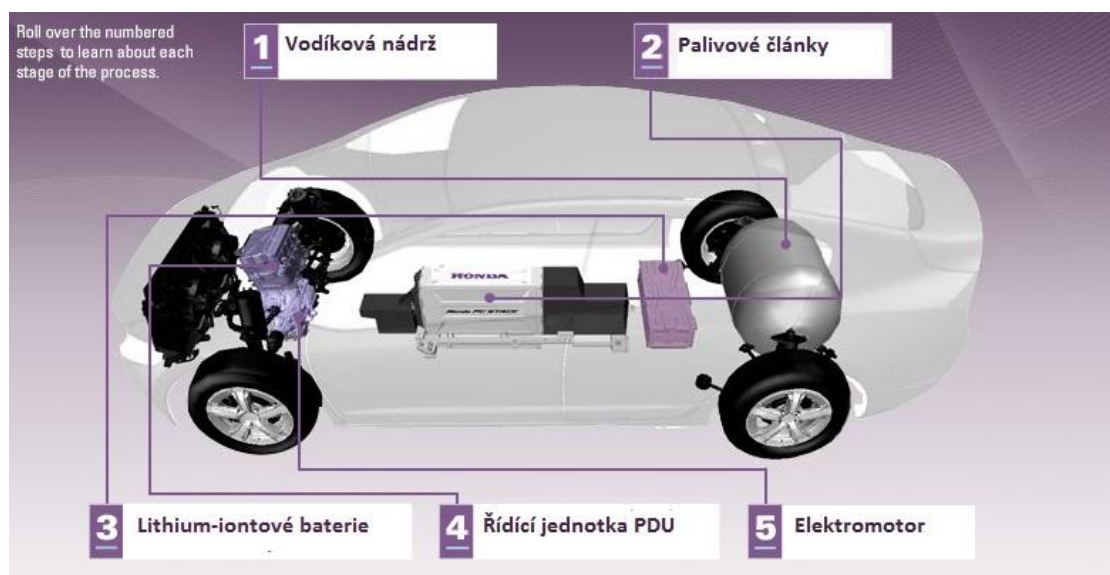
S nápadem na výrobu vodíkového automobilu přišla Honda již v 80. letech 20. století. První prototyp byl však postaven až v roce 1999 FCX-V1, záhy následovalo FCX-V2. Tyto typy byly z dnešního úhlu pohledu velice primitivní. Následoval vývojový stupeň číslo 3 FCX-V3 a roku 2002 byly první vozy specifikace FCX-V4 dodány zákazníkům v Japonsku a Americe a testovány v reálném provozu. Od té doby se vývoj opět posunul vpřed a finální verze FCX Clarity (Obr. 4.1) z června roku 2008 s novými palivovými články nijak nezaostává za konvenčními automobily. Zatím je FCX Clarity stále drahým malosériovým automobilem, ale celý projekt by měl do deseti let vyústit v masově vyráběný model určený pro každodenní použití. Co se ale v současnosti skrývá za spojením „auto s nulovými emisemi“? Do dnešního dne Honda vyrobila asi 50 těchto automobilů, přičemž v Evropě jezdí jen 2. [21] [22] [23]



Obr. 4.1 Honda FCX Clarity (převzato z [21])

4.2 Princip

FCX Clarity je FCEV (fuel cell electric vehicle), tzn. elektromobil. Princip je poměrně jednoduchý. Palivové články mísí vzduch s vodíkem a tím vzniká elektřina. Ta pak napájí elektromotor pohánějící auto. Rozložení pohonných částí je na obrázku 4.2. Jedinou odpadní látkou je voda (pára) a teplo, což znamená nulové emise. [21]



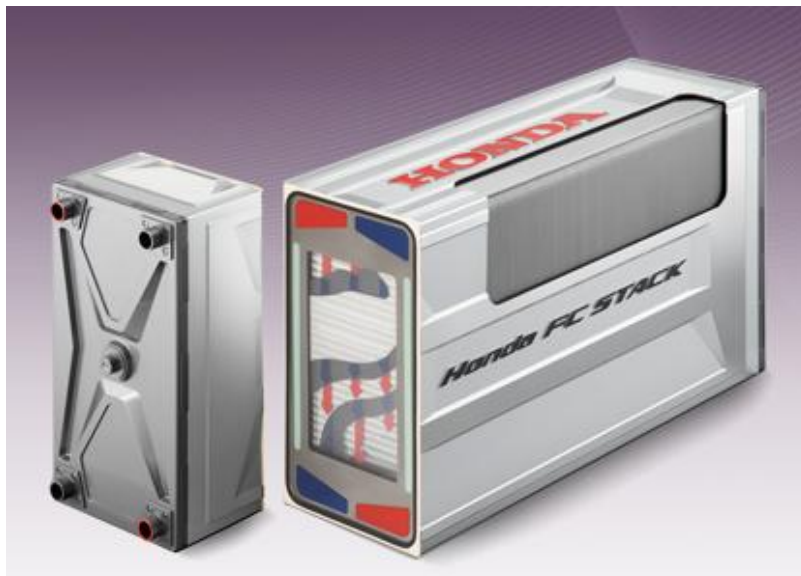
Obr. 4.2 Rozložení pohonných částí (převzato z [21])

- 1) Vodíková nádrž – kapacita je asi 4,5kg vodíku = dojezd cca 400km+ [23]
- 2) Palivové články – vyrábějí elektrickou energii
- 3) Li-Ion baterie – slouží k uchování nepotřebné el. Energie
- 4) Řídící jednotka PDU (power drive unit) – řídí tok elektrické energie do motoru
- 5) Elektromotor – pohání automobil [21]

4.2.1 Palivové články a napájecí systém

Palivové články mají za úkol dodávat elektrickou energii elektromotoru vozidla. Honda se jejich vývojem zabývá již 22 let. Honda FCX Clarity je vybavena nejnovější generací vertikálních palivových článků označené jako V Flow. Uvnitř palivového článku dochází ke slučování vodíku, který je uložen v tlakové nádrži a atmosférického kyslíku. Vzájemnou reakcí těchto dvou složek vzniká elektrická energie a vodní pára, která je v našem případě odpadní produkt. To znamená nulové škodliviny vypouštěné z výfuku. [22]

Každý článek (Obr. 4.3) se skládá ze dvou elektrod, mezi nimiž je tenká vrstva elektrolytu a dvou separátorů. Vodík je přiveden na anodu článku. Tam se jeho molekuly pomocí katalyzátoru rozloží na protony a elektrony. Elektrony následně vstupují do elektrického obvodu a vytvářejí elektrický proud. Protony prochází skrz polymerní elektrolytickou membránu. Kyslík (ze vzduchu) vstupuje katodou, mísí se s elektrony a protony a následně vzniká voda (vodní pára), která je v této reakci odpadním produktem. V celém celku V Flow je zapojeno několik set těchto článků do série. [21] [22]



Obr. 4.3 Palivový článek V Flow (převzato z [21])

Články V Flow mají ve srovnání se staršími články o 50 % větší měrný výkon na litr a o 2/3 vyšší měrný výkon na kilogram. Poslední verze článků je tedy kompaktnější a přináší velkou úsporu hmotnosti a prostoru. V Flow váží 67 kg a zabírá 57 litrů objemu. Celkový výkon je 100 kW. Jak je vidět z obrázku 4.2, je V Flow umístěn ve středovém tunelu mezi předními a zadními sedadly. To je vhodné i vzhledem k rozložení hmotnosti vozidla. [22]

Nový článek také lépe odvádí odpadní vodu díky své zlepšené struktuře. V praxi to znamená, že ihned po spuštění má palivový článek vyšší výkon. Dalším neméně podstatným přínosem je, že vozidlo je schopno startovat až při teplotách okolo $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Vylepšení se dočkala také tlaková nádrž na vodík. Ta je umístěna nad zadní nápravou. Její kapacita vzrostla o 24 % na 171 litrů a vodík je v ní stlačen na 35 MPa. Po převedení na váhu plynu je to kolem 4,5 kg vodíku. Toto množství stačí na ujetí 450 km, což je o 30 % více než u minulé generace. Tankovací systém je na obrázku 4.4. [22] [23] [24]

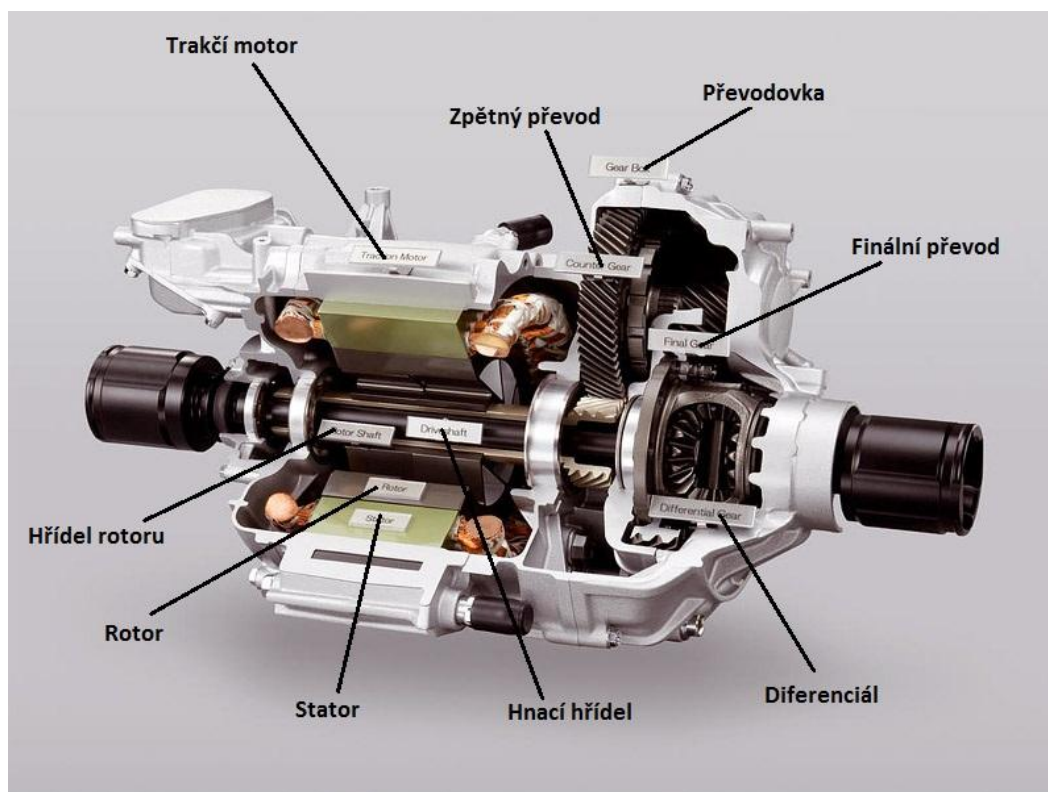


Obr. 4.4 Tankovací systém (převzato z [24])

Elektřina vygenerovaná v palivových článcích se ukládá do kompaktní lithium-iontové baterie s napětím 288 V. Ta je umístěna pod zadními sedadly (Obr. 4.2). Dřívější konstrukce používaly místo baterií kondenzátor umístěný za zadními sedadly. Kromě lepší kapacity tedy přináší akumulátor také úsporu prostoru. [22]

4.2.2 Elektromotor

FCX Clarity disponuje asynchronním elektromotorem Honda E-Drive (Obr. 4.5). Ten zvyšuje výhody tohoto druhu pohonu proti konvenčním spalovacím motorům. V porovnání s dřívějšími vodíkovými Hondami je tišší a kultivovanější, ve srovnání s benzinovým motorem pak jednoduchý, malý a lehký. Motor dosahuje maximálního výkonu 100 kW a kroutícího momentu o maximu 256 Nm v rozsahu 0 až 3056 ot./min. [22]



Obr 4.5 Motor Honda E-Drive (převzato z [22])

Elektromotor obsahuje permanentní magnet a pracuje se střídavým proudem. Elektrický proud, který napájí motor, reguluje elektronicky ovládaná řídicí jednotka. Díky vyššímu výkonu a maximálním otáčkám vyvine FCX Clarity nejvyšší rychlost 160 km/h. Pohon obstarávají přední kola. [22]

Účinnost pohonného ústrojí vysoce překračuje dnes dostupné druhy pohonu. Benzinový spalovací motor má účinnost menší než 20 %, současné hybridní automobily se pohybují kolem 30 %. S účinností 60 % je tak FCX Clarity dvakrát efektivnější než hybrid a více než třikrát účinnější ve srovnání s běžným autem se zážehovým motorem. [22]

5 SROVNÁNÍ

Oba zmíněné elektromobily se dokázali výrazně přiblížit klasickým automobilům, a to jak po stránce praktičnosti (typ karoserie), tak i po výkonové stránce (výkon motoru, dojezd vozidla). Hondu FCX Clarity, která je ve své podstatě rodinným vozem střední třídy, lze těžko srovnávat se sportovní Teslou. Proto bude srovnání rozděleno do dvou skupin. V první skupině proti sobě stanou Honda FCX Clarity za elektromobily, Toyota Prius 3. generace za hybridy a Škoda Octavia II (Obr. 5.1) za vozy s klasickým spalovacím motorem. Ve druhé skupině bude proti Tesle Roadster “bojovat” Lotus Elise SC, benzinový sportovní vůz, na jehož základě je právě Tesla postavena.



Obr. 5.1 Škoda Octavia a Toyota Prius (převzato z [27] [28])

5.1 Toyota Prius

Prius je hybridní automobil japonské značky Toyota, který se řadí do kategorie vozů střední třídy. Tento automobil skrývá pod kapotou zážehový čtyřválec o objemu 1,8 litru. To však není vše. Vůz je hybrid a využívá technologie Hybrid Synergy Drive. Jedná se o technologii, kterou Toyota vyvíjí již mnoho let (první hybrid od Toyoty se objevil v roce 1997). [27]

Hybrid Synergy Drive využívá energii z brzdění, která by se jinak přeměnila na teplo, tak, že ji ukládá do nikl-metal hydridových (NiMH) akumulátorů. Ta je pak použita k pohonu elektromotoru (synchronní motor s permanentním magnetem). Při rozjezdu vůz pohání pouze elektromotor (obrovské snížení spotřeby ve městě), při jízdě pak systém využívá optimální kombinaci obou motorů. V praxi to znamená, že má Toyota ve městě menší spotřebu (4 l/100 km) než např. na dálnici, (6 l/100 km) kde je potřeba vyšší výkon. To je naprostý opak vozidel se spalovacím motorem, které mají vždy největší spotřebu ve městě. [26] [27]

5.2 Clarity vs. Prius vs. Octavia

Všechny tři zmíněné automobily lze zahrnout do kategorie vozů střední třídy. Pro lepší přehlednost jsou technické parametry vozů vyjádřeny v tabulce 5.1. Škoda Octavia je osazena úsporným čtyřválcovým vznětovým motorem 2.0 tdi. Všechny automobily byly vybírány tak, aby se sobě co možná nejvíce podobaly.

Tab. 5.1 Porovnání parametrů vozů Honda FCX Clarity, Toyota Prius a Škoda Octavia [21] [24] [25] [26] [27] [28]

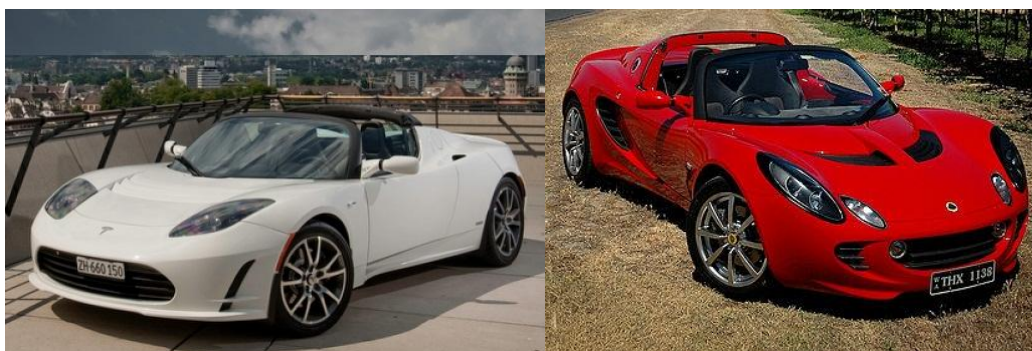
	Škoda Octavia	Toyota Prius	Honda FCX Clarity
Výkon spalovacího motoru	103 kW (140 koní)	73 kW (100 koní)	-
Výkon elektromotoru	-	60 kW (80 koní)	100 kW (136 koní)
Celkový výkon	103 kW (140 koní)	100 kW (136 koní)	100 kW (136 koní)
Palivo	nafta (35 kč/l)	benzín (N95) (36 kč/l)	vodík (120 kč/kg)
Max. rychlost	211 km/h	180 km/h	160 km/h
Dojezd	1000 km	1000km	400 km
Průměrná spotřeba	5,5 l/100 km	4,5 l/100 km	1 kg/100 km ~ 3,4 l/100 km
Kč/km	1,925	1,62	1,2
Váha	1396 kg	1379 kg	1600 kg

Z tabulky 5.1 je zřejmé, všechny vozy mají srovnatelný výkon pohybující se kolem 100 kW. Na základě spotřeb udávaných výrobcem a průměrné ceny pohonných hmot je vypočtena cena jednoho kilometru jízdy. Jak je vidět, Honda je v tomto srovnání vítězem a při ujetí 100 kilometrové vzdálenosti ušetříte 700 Kč ve srovnání s Octavií a 240 Kč oproti Toyotě Prius. Po přepočtu spotřeby vodíku vychází spotřeba Hondy na úctyhodných 3,4 l/100 km benzínu. Je však potřeba do tohoto srovnání započítat i ceny vozů. Pořizovací

cena Škody Octavia s touto motorizací se pohybuje někde kolem 550 000 Kč, Toyotu Prius pořídíte za 670 000 Kč a Hondu si pořídít nemůžete. Lze si ji pouze pronajmout za 600 \$ za měsíc. Proslýchá se ale, že výrobní náklady na jeden vůz se pohybují někde mezi 120 a 140 tisíci dolary, což je v přepočtu při současném kurzu (1 USD = 20 Kč) více než 2 500 000 Kč. [27] [28] [29]

5.3 Tesla Roadster vs. Lotus Elise

Tyto vozy, jak můžete vidět na obrázku 5.2, si nejsou podobné jen tak pro nic za nic. Tesla je postavena na podvozkové platformě právě Lotusu Elise. To bylo zároveň nápovědou a ukazatelem toho, s jakým automobilem Teslu srovnávat. Opět pro lepší přehlednost je vše vyjádřeno v tabulce 5.2.



Obr. 5.2 Tesla Roadster (vlevo) a Lotus Elise (vpravo) (převzato z [18] [31])

Tab 5.2 Porovnání vozů Tesla Roadster a Lotus Elise SC [18] [30] [31]

	Tesla Roadster	Lotus Elise SC
Výkon spalovacího motoru	-	163 kW (221 koní)
Výkon elektromotoru	185 kW (252 koní)	-
Kroutící moment	370 Nm	212 Nm
Palivo	elektřina (4,50 kč/kWh)	benzin (N95) (36 kč/l)
Zrychlení 0-100 km/h	3,9 s	4,3 s
Max. rychlost	200 km/h +	240 km/h
Dojezd	400 km	500 km
Spotřeba	11 kWh/100 km ~ 1,4 l/100 km	7,5 l/100 km
Kč/km	0,495	2,7
Váha	1 235 kg	860 kg

Jak je opět patrné z tabulky Tesla Roadster dosahuje jak vyššího výkonu, tak i kroutícího momentu. To hned nadchne všechny zastánce sportovní jízdy. Skutečnost však není tak růžová, jak to na první pohled vypadá. Při pohledu na váhu vozidel je vidět, že Tesla je o necelých 400 kg těžší. To mají za následek těžké akumulátory. Po vyjádření poměru výkon/váha nám vychází čísla 190 kW/t (Lotus Elise) a 150 kW/t (Tesla Roadster) a hned je vše jinak. Na rovném úseku je opravdu Tesla rychlejší díky absenci řazení a velkému kroutícímu momentu, ale na okruhu ji Elise strčí do kapsy. [18] [30] [31] [34]

Někdo možná může namítat, že mu ta váha za to stojí, když vyjde 1 km jízdy tímto vozem na neuvěřitelných cca 50 halěrů oproti 2,70 Kč za 1 km v Lotusu. Po přepočtu na benzín je to 50 Kč/100 km, což odpovídá spotřebě 1,4 litru benzínu na 100 km (Lotus má výrobcem udávanou spotřebu 7,5 l/100 km). Musíte si však dobře rozmyslet, zda vám to stojí za pořizovací cenu 99 000 €, což je něco kolem 2 500 000 Kč. Za tyto peníze si pořídíte 2 nové Lotusy Elise model 2011 a ještě vám zbude (jeden stojí 50 000 \$ = 1 000 000 Kč). Navíc udávaná životnost systému akumulátorů u Tesly je jen 160 tis. km nebo 7 let a na jejich výměnu si připravte opět slušnou sumu peněz. Současná hodnota ESS je něco málo pod 36 000 \$ (720 000 Kč). Tesla ale začala předprodávat menší verzi ESS, která by měla vydržet 5 let nebo 80 000 km a její cena je přibližně 12 000 \$ (240 000 Kč). I přes tuto příznivější variantu se vám ale provoz tohoto “eko-sportáku” hodně prodraží. [32] [33] [35]

ZÁVĚR

Jak je vidět hybridní pohony budou určitě nedílnou součástí následujících let. Hlavními úkoly této technologie bylo snížit spotřebu ropy a produkce CO₂. Avšak argumenty o snižování emisí nelze brát doslova vážně. Např. právě o elektromobilu Tesla Roadster se tvrdí, že je to vůz s nulovými emisemi. Nulové emise však neznamenají snížení celosvětové produkce emisí, protože se vzrůstající spotřebou el. energie, která je právě potřeba na dobítí vozidla, bude vzrůstat i množství škodlivin produkovaných elektrárnami. To, jak se zdá, řeší až Honda FCX Clarity s palivovými články na vodík. Jedinou emisní látkou je voda. Problémem se může zdát, že vodík se, ač je ho ve vesmíru nejvíc, nevyskytuje samostatně. Vždy je vázán na nějaký jiný prvek (např. kyslík – voda H₂O). To znamená, musíme ho separovat pomocí elektrolýzy a to je jak finančně tak i energeticky velice náročné. I přesto stojí 1 kilogram vodíku 120 Kč a v kombinaci se spotřebou vozu je to velice zajímavá a perspektivní možnost. Proto si trůfám říct, že právě Honda FCX Clarity je budoucností automobilismu. V případě, že vám dojde vodík, zajedete k čerpací stanici a natankujete ho během pár minut jako naftu nebo benzín, oproti zdlouhavému dobíjení Tesly Roadster.

ZDROJE A POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Úvod o hybridních automobilech. [online]. 2010[cit. 2012-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid-auto.cz/>>.
- [2] Hybridní pohony. [online]. [cit. 2012-03-10]. Dostupné z WWW: <<http://cs.autolexicon.net/articles/hybridni-pohon/>>.
- [3] Elektromobily - historie a současnost. In: VEGR, Jaromír. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.pro-energy.cz/clanky7/3.pdf>>.
- [4] Jenatzy, Křížík, Jeantaud a elektromobily. [online]. [cit. 2012-05-09]. Dostupné z WWW: <<http://www.eurooldtimers.com/cze/historie-clanek/771-jenatzy-krizik-jeantaud-a-elektromobily.html>>.
- [5] Automobil. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-09]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Automobil>>.
- [6] MARUŠINEC, Jaromír. Elektromobily minulosti a budoucnosti. In: [online]. 2009 [cit. 2012-05-09]. Dostupné z WWW: <http://www.elektromobily.org/w/images/6/6e/Elektromobily_minulosti_a_budoucnosti_v04_CZ.ppt>.
- [7] Hybridní pohon. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-03-10]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hybridn%C3%AD_pohon>.
- [8] ČEŘOVSKÝ, Z., HALÁMKA, Z., HANUŠ, P., MÍDL, P., PAVELKA, V.: Hybridní pohony automobilů a výzkumné pracoviště hybridních pohonů. ČVUT Praha. [cit. 2012-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12241-BOZEK/publikace/2002/k314-SYMEP.pdf>>. S. 2-5.
- [9] ČEŘOVSKÝ, Z.: Elektromobily a hybridní elektromobily, díl IV. ČVUT Praha. [cit. 2012-03-11]. Dostupné z WWW: <http://www.inovacedmt.fs.cvut.cz/studijni_materialy/Prednasky_14.pdf>.
- [10] JEŘÁBEK, Jakub. Alternativní a hybridní technologie pohonů v automobilech. Plzeň, 28.5.2010. Bakalářská práce. ZČU Plzeň, fakulta elektrotechnická.
- [11] MAŠEK, Z, GREGORA, S, MICHL, J, DVOŘÁK, K.: Superkapacitory v dopravní technice, Vědeckotechnický sborník ČD č. 25/2008. [cit. 2012-03-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.cd rail.cz/VTS/CLANKY/vts25/2511.pdf>>. S. 1-3.

- [12] Lithium-iontový akumulátor. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-04-10]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor>.
- [13] Firemní literatura firmy EPCOS. [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupná z WWW: <<http://www.epcos.com/>> .
- [14] Firemní literatura firmy Maxwell. [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupná z WWW: <<http://www.maxwell.com/>>.
- [15] MARUŠINEC, Jaromír. Alternativní pohony v dopravě. In: [online]. 2008 [cit. 2012-04-10]. Dostupné z WWW: <www.elektromobily.org/w/images/6/66/AltPohVDopr.ppt>.
- [16] VOJÁČEK, Antonín. Co se skrývá uvnitř výkonného elektroauta Tesla Roadster?. [online]. 2008 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://automatizace.hw.cz/co-se-skrывa-uvnitř-vykonneho-elektroauta-tesla-roadster>>.
- [17] Tesla Roadster. [online]. 2010 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.euta.cz/elektromobily-elektrovozidla/tesla-roadster>>.
- [18] Oficiální stránky Tesla motors [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.teslamotors.com/roadster/>>.
- [19] Roadster - under the skin. [online]. 2009 [cit. 2012-04-15]. Dostupné z WWW: <<http://www.teslamotorsclub.com/showthread.php/2126-Roadster-under-the-skin>>.
- [20] DOLEJŠÍ, Jiří. Praktická energie. In: [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z WWW: <http://www-ucjf.troja.mff.cuni.cz/dolejsi/prakticka_energie.pdf>. S. 3.
- [21] Oficiální web Honda [online]. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://automobiles.honda.com/fcx-clarity/>>.
- [22] VAVERKA, Lukáš. Honda FCX Clarity - Budoucnost patří vodíku. [online]. 2008 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/honda-fcx-clarity-budoucnost-patri-vodiku-1846>>.
- [23] VRTAL, Josef. Autosalon 2011 (14. díl). Vysíláno dne 8.4. 2011. [cit. 2012-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://prima.stream.cz/autosalon/575892-autosalon-2011-14>>.
- [24] SOUKUP, Petr. Test vodíkového auta Honda FCX Clarity. [online]. 2011 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/testy/auto-na-vodik-honda-fcx-clarity>>.
- [25] Specifikace Toyoty Prius [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.toyota.com/prius-hybrid/specs.html>>.

- [26] HOŘČÍK, Jan. Test: Toyota Prius. [online]. 2009 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.hybrid.cz/testy/toyota-prius-hybrid-treti-generace-uvod>>.
- [27] Specifikace Toyoty Prius. In: [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.toyota.cz/cars/new_cars/prius/index.tmex?scroll=1&cta=/cars/new_cars/prius/specs.aspx?redirect=false>.
- [28] Specifikace Škody Octavia. In: [online]. [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.skoda-auto.cz/CZE/model/newoctavia/facts/Pages/techdata.aspx?m=76852>>.
- [29] Honda FCX Clarity. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Honda_FCX_Clarity>.
- [30] Technická specifikace Lotusu Elise. [online]. 2002 [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.carpages.co.uk/lotus/lotus_elise_specification_24_10_02.asp>.
- [31] Lotus Elise. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-10]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Lotus_Elise>.
- [32] Tesla Roadster. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-11]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Tesla_Roadster#Motor>.
- [33] New Lotus Elise Reviews, Specs, & Pricing. [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z WWW: <http://www.motortrend.com/new_cars/04/lotus/elise/>.
- [34] CLARKSON, Jeremy. Top Gear 2009 (12. řada, 7. epizoda). [cit. 2012-04-22].
- [35] Tesla Roadster Specifications Cost. [online]. [cit. 2012-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://rockyelcid.hubpages.com/hub/Tesla-Roadster-Specifications-Cost>>.