

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Obor: Elektrotechnika, energetika a management

Zaměření: Elektrotechnika a management



Využití elektropohonu v osobní dopravě
Using electric Propulsion in personal Transport

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vypracoval: Jan Špatný

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Rok: 2015

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Jan Špatný

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Špatný Jan**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Využití elektropohonu v osobní dopravě

Pokyny pro vypracování:

1. Možnosti elektropohonů.
2. Využití elektropohonu u automobilů.
3. Specifikujte varianty elektropohonu a spalovacího motoru.
4. Porovnejte varianty z ekonomického hlediska.

Seznam odborné literatury:

1. Hromádka J. a kol.: Spalovací motory. GRADA, Praha, 2011.
2. Zoubek Z., Měříčka K.: Elektrické stroje. ČVUT, Praha, 1983.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Víték, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc. za cenné rady, připomínky a odborné vedení. Dále bych rád poděkoval pánům Kubišovi a Vechtovi za konzultaci a reálné uživatelské informace z provozování elektromobilů.

Abstrakt

V posledních patnácti letech došlo k obrovskému rozmachu na poli akumulátorů. Jejich současné parametry umožnily návrat výrobců automobilů k plně elektrickým vozidlům. I když je na trhu zatím pouze několik typů elektromobilů, rozhodně budí pozornost a vyvolávají mnoho otázek.

V této bakalářské práci zjišťuji, na kolik jsou dnešní elektromobily konkurenceschopné benzinovým a naftovým alternativám a zda se koupě dražšího elektromobilu vůbec ekonomicky vyplatí.

Abstract

In the last fifteen years there has been a huge boom in development in the field of rechargeable batteries. Their current parameters allowed automotive manufacturers to return to fully electrically driven cars. Although the market offers only a very few types of electric vehicles they definitely attract attention and raise many questions.

In this bachelor thesis I discover how competitive are today's electric vehicles to the diesel and gasoline powered alternatives and whether purchase of more expensive electric vehicle can be economically profitable.

Klíčová slova

Elektrina, elektromobil, baterie, nabíjecí stanice, Tesla, Model S, Škoda, Octavia, Nissan, LEAF, Audi, A8, Cash Flow (CF), čistá současná hodnota (NPV).

Key words

Electricity, electric vehicle, battery, charging station, Tesla, Model S, Skoda, Octavia, Nissan, LEAF, Audi, A8, Cash Flow (CF), net present value (NPV).

Obsah

Úvod.....	10
1. Možnosti elektropohonu.....	11
1.1 Historie.....	11
1.2 Úvod do problematiky elektropohonu	12
1.2.1 Baterie	12
1.2.2 Regulátory otáček a motory	15
1.3 Typy elektrických motorů a jejich využití	15
1.3.1 Asynchronní motory.....	15
1.3.2 Stejnostměrné komutátorové motory	16
1.3.3 Stejnostměrné bezkomutátorové (BLDC) elektromotory	17
1.3.4 Krokové motory	19
1.4 Možnosti dnešních baterií	19
2. Využití elektropohonu u automobilů	22
2.1 Způsoby použití elektrických motorů v automobilech.....	22
2.1.1 Vozidla s paralelním hybridním pohonem	22
2.1.2 Vozidla se sériovým hybridním pohonem	22
2.1.3 Plug-in Hybridní pohony.....	23
2.1.4 Elektromobil.....	23
2.2 Způsoby nabíjení baterie	24
2.2.1 Dobíjecí stanice.....	24
2.2.2 Dobíjecí stanice ČEZ	26
2.2.2 Dobíjecí stanice Supercharger.....	26
2.2.3 Domácí dobíjecí stanice	27
2.2.4 Rekuperace.....	28
2.3 Přehled parametrů elektromobilů.....	28
3. Specifikujte varianty elektropohonu a spalovacího motoru	31
3.1 Problematika srovnávání.....	31
3.2 Parametry konkrétních vozidel	31
3.2.1 Škoda Octavia Green E Line a Octavia 1.4TSI.....	31
3.3.2 BMW Concept ActiveE	32
3.2.3 Audi e-tron	33
3.2.4 Volkswagen e- Golf	33
4. Porovnejte varianty z ekonomického hlediska.....	34

4.1 Pořizovací ceny a náklady na provoz automobilů.....	34
4.1.1 Nissan LEAF.....	34
4.1.2 Škoda Octavia Fresh Ambition 1.6 TDI 81kW AP.....	35
4.1.3 Tesla Model S 85D.....	35
4.1.4 Audi A8.....	36
4.2 Cena nafty	37
4.3 Cena benzínu.....	38
4.4 Cena elektřiny	39
4.5 Porovnání Nissanu LEAF a Škody Octavie III	40
4.6 Porovnání Audi A8 a Tesly Model S 85D	44
4.7 Shrnutí.....	46
Závěr	48
Seznam použitých zdrojů.....	50
Seznam příloh:	53
Seznam obrázků:	53
Seznam tabulek:	54

Úvod

V dnešní době se stále častěji setkáváme se snahou o snížení spotřeby fosilních paliv. Ať už jde o podporu obnovitelných zdrojů elektrické energie, nebo na druhé straně například podpora elektrického vytápění na úkor kotlů na uhlí.

Technologie zároveň pokročila natolik, že se elektrický pohon stal zajímavou alternativou k pohonu osobních dopravních prostředků. Na trhu se objevila elektrická kola, segway, elektromobily i elektrická letadla.

V následujících kapitolách popisují historii elektrického pohonu i jeho dnešní možnosti. Důležité je srovnání parametrů baterií, o kterých se dá říct, že jsou jedním z velmi mála slabých článků dnešních elektromobilů i skladování „zelené“ elektrické energie z větrných a solárních elektráren. S rostoucím počtem elektromobilů připojovaných do rozvodné sítě totiž může dojít k nežádoucímu špičkovému přetěžování, které mimo jiné řeší například projekt Smart Grids.

Tato práce je zaměřena na využití elektropohonu v osobní automobilové dopravě, konkrétně na běžné užívání automobilu pro osobní potřeby. Většina zmíněných principů a postupů by šla využít i pro porovnání například vhodnosti elektromobilů pro taxislužby, kde by ale byl rozdíl v nákupních cenách, odpočtech DPH a možnosti financování z cizího kapitálu.

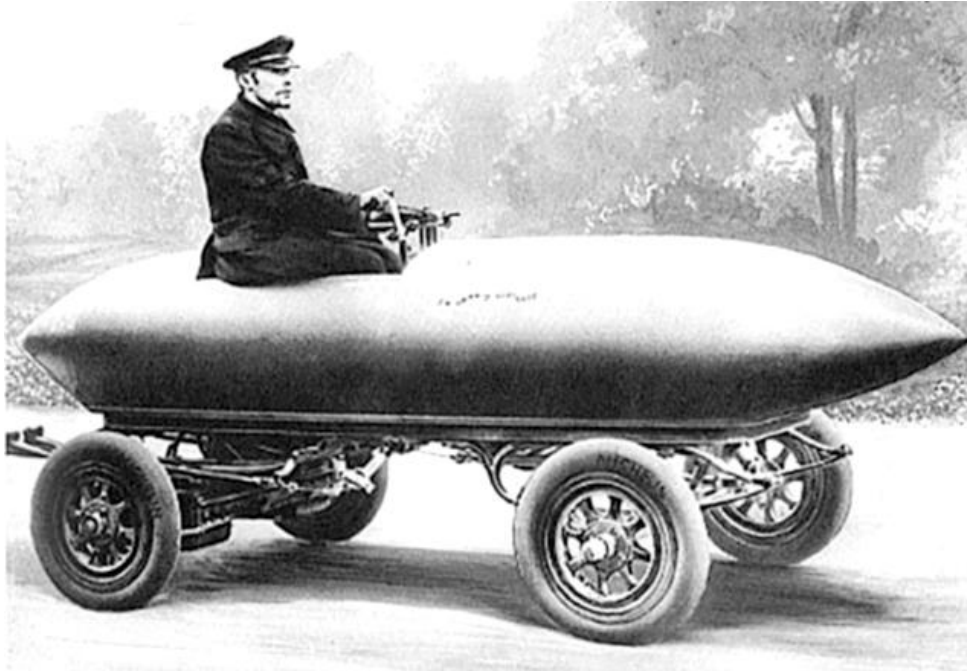
Při srovnávání elektromobilů s automobily poháněnými benzínovým a naftovým motorem je potřebné srovnat i akumulátory s palivy. U paliv se běžně používá výhřevnost udávaná v Joulech (tedy J/kg, nebo J/l). Aby bylo srovnání přehlednější, používal jsem u paliv i zdrojů elektrické energie Watthodiny (Wh/kg, nebo Wh/l).

Protože na trhu zatím není mnoho elektromobilů, ze kterých by zájemce mohl vybírat, zaměřil jsem se na ekvivalent populární Škody Octavie – Nissan LEAF, který je na trhu již několik let a je o něm k dispozici dostatek informací. Z vyšší třídy jsem porovnal ikonický Model S od Tesla Motors se známou A8 o Audi.

1. Možnosti elektropohonu

1.1 Historie

První dopravní prostředky poháněné elektropohonem se začaly objevovat již v 19. století. Možná úplně prvním elektrickým dopravním prostředkem byla loď Moritze Hermanna Jacobiho, kterou předvedl roku 1838 v Petrohradu [1]. Následně se začala objevovat první elektromotorem poháněná auta. Prvním sériově vyráběným elektromobilem byl vůz připomínající kočár vynálezce Thomase Parkera. Ten začal s jeho produkcí v Londýně v roce 1884. [2] Jeden elektromobil postavil i český vynálezce František Křížík. Jeho vozidlo bylo poháněno elektromotorem o výkonu 3,7 kW.[3] Elektromobily v té době ustavovaly i na dnešní poměry zajímavé rychlostní rekordy, některé speciály dosáhly rychlostí přes 100 km/h (Obrázek1). I přes to je ze silnic vytlačily benzínové alternativy, jako například levný a spolehlivý Ford Model T z roku 1908.



Obrázek 1: C. Jenatzy v roce 1899 vytvořil v elektromobilu rychlostí rekord 105,3km/h [4]

1.2 Úvod do problematiky elektropohonu

Otázkou tedy je, jaké byly možnosti elektropohonu tehdy, a proč se dnes elektropohon stává populárním a je vnímán jako něco nového, revolučního? Elektrický pohon se v každém případě musí sestávat ze tří základních komponent: motoru, zdroje elektrické energie a nějakého regulátoru otáček nebo spínače.

1.2.1 Baterie

V 19. století byly k dispozici prakticky jen olověné akumulátory, které jsou poměrně těžké, a proto je jejich využití značně komplikované. Olověný akumulátor vynalezl francouzský fyzik Gaston Planté v roce 1859 a v téměř nezměněné podobě se používá do dnes.[5] Hustota energie uložené v olověném akumulátoru se pohybuje okolo 40 Wh/kg. Hustota energie uložená v benzínu, který poháněl později vyráběný Ford Model T je zhruba 13 kWh/kg. Samozřejmě záleží na celkové účinnosti pohonu (tedy spalovacího motoru nebo elektromotoru a regulátoru otáček), ale při rozdílů dvou řádů v hustotě uložené energie olověný akumulátor nemohl benzínu konkurovat. Pro lepší přehled uvádím tabulky s porovnáním energetické hustoty a výpočtem hmotnosti akumulátorů a nafty obsahující ekvivalent energie obsažené v 55 litrech benzínu.

Typ akumulátoru/paliva	Hustota energie	Ekvivalentní hmotnost 55l benzínu
Olověný akumulátor	30-50 Wh/kg	12,5t
NiMH	60-120 Wh/kg	5,5t
NiCd	45-80 Wh/kg	8,0t
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,7t
Li-pol	100-130 Wh/kg	4,3t
benzín	12,2 kWh/kg	41,2kg
nafta	13,3 kWh/kg	44,9kg

Tabulka 1: Energetické hustoty akumulátorů [6] a paliv [7]. Při přepočtu hmotnosti na energii 55l benzínu byla použita hmotnost benzínu 0,75kg/l a střední hodnota hustoty energie akumulátoru.

Pozn.: NiCd akumulátory se v Evropě nesmí prodávat kvůli toxickému kadmium, v České republice platí zákaz prodeje od 26. 9. 2009. Výjimkou jsou NiCd akumulátory určené pro kosmonautiku a vojenská zařízení [8].

Typ akumulátoru/paliva	Hustota energie [kWh/l]	l / 495kWh
Pb	0,15	3300
Ni-MH	0,13-0,3	2302
Ni-Cd	-	-
Li-Ion	0,25-0,73	990
Li-Pol	0,25-0,73[15]	990
benzín	9	55
nafta	9,9	49,8

Tabulka 2: Hustota uložené energie na litr objemu [7], [15]. Ve třetím sloupci jsem přepočítal objem jednotlivých akumulátorů a paliv na uloženou energii ekvivalentní 55l benzínu.

Protože jsem nechtěl pracovat čistě s daty získanými z cizích zdrojů, provedl jsem vlastní měření pro zjištění energetické hustoty Li-pol článků. Baterie značky Gens Ace určená pro UAV (Unmanned Aerial Vehicle – bezpilotní létající prostředek) složená ze šesti sériově zapojených článků o kapacitě 16Ah váží včetně vývodů (kabelů), konektorů a vlastního obalu baterie (tvořeného dvěma plechovými deskami a folií) 1930 gramů. Výrobce uvádí, že tato baterie má 355,2Wh. Vydělením jsem spočítal energetickou hustotu 184Wh/kg, výrazně víc, než pro tento typ akumulátoru udává zdroj Battery University [6]. Po dalším hledání jsem narazil například na Wikipedii udávaných 100-265 Wh/kg [15]. Za realistický údaj podle mého názoru lze považovat rozsah 130-200Wh/kg udávaných jedním z předních světových výrobců Li-pol akumulátorů, značkou Kokam [14]. Ekvivalentní hmotnost Li-pol akumulátoru s hustotou 184Wh/kg a energií odpovídající 55l benzínu pak vychází zhruba 2,7 tuny.

Pro stejný akumulátor jsem spočítal i objemovou hustotu. Při výrobcem udávaných rozměrech baterie 18x7,4x6,2cm je její objem přibližně 0,82 litru. Objemová hustota pak vychází na 0,43kWh/l. 495kWh akumulátor v osobním autě by měl objem 1151 litrů, to je pro srovnání téměř celý objem zavazadlového prostoru Fabie hatchback po sklopení sedadel (model z roku 2010).

Z tabulky i mého výpočtu vyplývá, že i moderní LiIon a LiPol akumulátory váží při ekvivalentním množství uložené energie přinejmenším 65x více, než pohonné hmoty nafta nebo benzín v nádrži. To je částečně vykompenzováno vyšší účinností elektrického pohonu a nižší celkovou spotřebou. Účinnost samotného pístového spalovacího motoru se pohybuje do $\eta=37\%$, elektromotory dosahují účinnosti $\eta=80-90\%$ [42].

Předpokládejme nulové ztráty v převodovce a valivém odporu pneumatik, zkrátka, že benzínový motor s účinností $\eta=37\%$ přeneše všechnu energii na kola automobilu. Stejně tak elektromobil s účinností elektromotoru $\eta=85\%$. V následující tabulce je přepočtená využitá energie s ohledem na výše uvedené účinnosti obou typů motorů. Pro výpočet jsem stejné hodnoty jako v tabulkách 1 a 2, a opět vycházím z pomyslné nádrže obsahující 55 litrů benzínu.

Hmotnost 55L benzínu [kg]	41,2
Energie benzínu [kWh]	495
Energie využitá při $\eta=37\%$ [kWh]	183
Nutná kapacita baterie při $\eta=85\%$ [kWh]	215,5

Tabulka 3: Výpočet baterie ekvivalentní 55l benzínu při zohlednění účinnosti motorů.

Hmotnost a objem akumulátorů při kapacitě 215,5kWh		
Typ akumulátoru/paliva	Hmotnost [kg]	Objem [l]
Pb	5386	1437
Ni-MH	2394	1002
Ni-Cd	3448	-
Li-Ion	1596	431
Li-Pol (115Wh/kg)	1873	431
Li-Pol (184Wh/kg; 0,43Wh/l)	1171	501

Tabulka 4: Hmotnost a objem baterie ekvivalentní 55l benzínu při zohlednění účinnosti motorů

Dále je rozdíl v celkové účinnosti pohonu. Stojící elektromobil má téměř nulovou spotřebu energie na rozdíl od vozidel se spalovacími motory běžícími na volnoběh (mimo ne příliš rozšířená vozidla se systémem „start stop“). Některé elektromobily jsou dále schopné část energie vynaloženou do zrychlení rekuperovat během brzdění. Proto elektromobilu stačí nižší množství energie v pomyslné nádrži a menší a lehčí akumulátor. Aby bylo srovnání elektromobilů se spalovacími automobily úplné, je potřeba srovnat elektromotor se spalovacím pohonem. Zde je ve značné nevýhodě poměrně velký a komplikovaný spalovací motor. Elektromobily nepotřebují takové chlazení motoru jako spalovací alternativy, nepotřebují pumpu paliva a oleje, turbodmychadlo, ani mezichladič plnicího vzduchu (intercooler). Těžký akumulátor tak částečně kompenzují lehkým a kompaktním motorem. Jako příklad mohu uvést Škodu Octavii E Line. Elektrická Octavia je o 290 kg těžší než verze se zážehovým motorem 1.4 TSI. Elektrický motor ale váží oproti benzínovému 1.4 TSI o celých 25 kg méně. [9]

1.2.2 Regulátory otáček a motory

Podobný problém jako s olověnými akumulátory byl v historii i s neexistující řídicí elektronikou. K hrubému řízení otáček stejnosměrného elektromotoru o výkonu několika málo kilowatt stačí řada spínačů s odpory. Ale stejnosměrné elektromotory mají nevýhodu v komutátoru, který se opotřebovává a je potřeba měnit. Stejnosměrné bezkomutátorové elektromotory (BLDC) jsou poměrně složité na řízení a to bez polovodičových součástek prakticky nelze vyrobit. Spolehlivé a konstrukčně jednoduché asynchronní motory vyžadují střídavé napětí, elektromotor tedy potřebuje střídač, ten ale nebyl počátkem dvacátého století k dispozici. Je také potřeba přihlídnout k požadavkům na výkon. Zatím co běžné dopravní prostředky poháněné elektromotorem si v 19. století si vystačily s výkony do 10 kW, postupem času se nároky zvyšovaly. V dnešním provozu je žádoucí výkon minimálně čtyřnásobný.

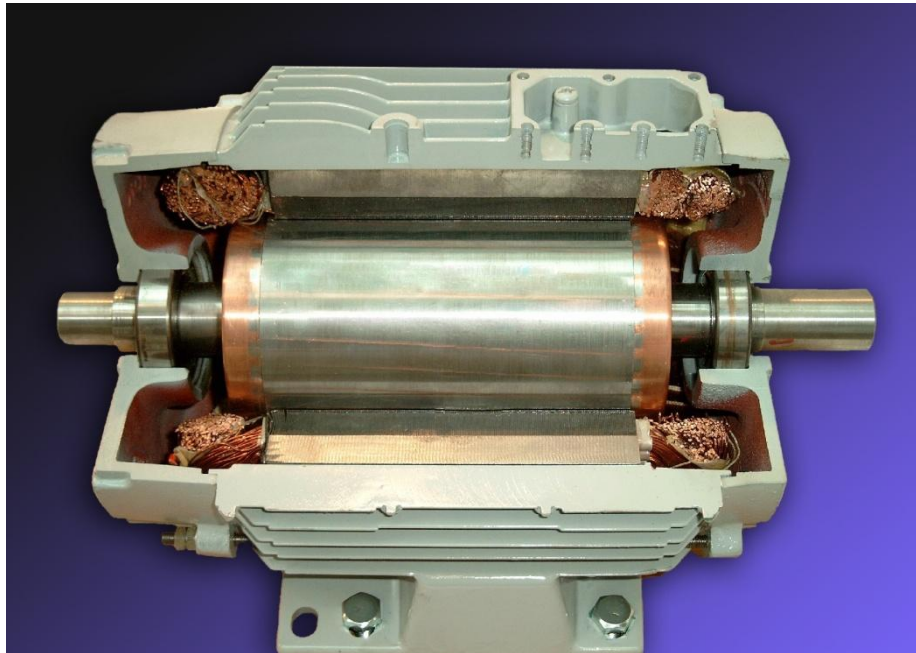
1.3 Typy elektrických motorů a jejich využití

V dnešní době je díky obrovskému rozšíření polovodičových součástek, dostupnosti kvalitních a lehkých materiálů a výkonných akumulátorů situace jiná. Díky kompaktním a výkonným střídačům, regulátorům otáček a mnoha typům elektromotorů různých výkonů a velikostí jsou dnes elektropohony implementovány všude, od stěračů v osobním automobilu po pohon sond na jiných planetách. Například Americký národní úřad pro kosmonautiku a letectví NASA na svých stránkách přehledně sumarizuje některá využití a vlastnosti různých typů elektromotorů. V NASA používají především 4 typy elektromotorů pro různé aplikace[10]. Jsou to stejnosměrné komutátorové (BDC), stejnosměrné bezkomutátorové (BLDC), asynchronní (indukční) a krokové elektromotory.

1.3.1 Asynchronní motory

Asynchronní motory NASA používá například pro pohony TVC (thrust vector control – řízení směru tahu), nebo pohony čerpadel a kompresorů. Tyto motory běží na vysokých otáčkách a mají vysoký krouticí moment, používají se tam, kde je k dispozici (většinou třífázové) střídavé napájecí napětí o frekvenci 60 nebo 400 Hz. Jejich výhodou je především jednoduchá konstrukce a vysoká životnost, mimo ložisek v nich nedochází k žádnému opotřebení. Nevýhodou je komplikovaná regulace otáček prováděná nejčastěji změnou frekvence napájecího střídavého napětí. Asynchronní

motory jsou nejrozšířenějším typem elektromotorů vůbec, používají se k pohonu mnoha strojů a vyrábí se ve výkonech od stovek wattů po stovky kilowatt. Asynchronní motory používá k pohonu kol i v dnešní době jeden z nejpůlárnějších elektromobilů Tesla Model S.



Obrázek 2: Řez asynchronním motorem

1.3.2 Stejnostměrné komutátorové motory

BDC (Brushed DC – komutátorové stejnosměrné) elektromotory se používají nejčastěji pro nízko otáčkové pohony. Mají vysoký krouticí moment, pracují se stejnosměrným proudem, ale jejich velkou nevýhodou je komutátor, který se opotřebovává a pohon tak má krátkou životnost nebo krátké servisní intervaly. Malé BDC motory používají permanentní satorové magnety, jsou levné a mají jednoduchou konstrukci. Mezi hlavní nevýhody NASA uvádí elektromagnetické rušení (dané jiskřením na komutátoru), nízkou účinnost, limitované otáčky a problémy s chlazením (což je pochopitelné zejména ve vakuu). Proto se tyto motory v „běžných pozemských aplikacích“ používají pro méně náročné funkce, jako je pohon stěračů, ručního nářadí atp. Výkonné trakční BDC motory pak nepoužívají permanentní magnety, ale budící vinutí. Používají se dodnes například ve starších tramvajích T3 (konkrétně typ motoru TE 022 se sériovým buzením [11]).

1.3.3 Stejnoseměrné bezkomutátorové (BLDC) elektromotory

BLDC elektromotory mají v dnešní době obrovskou škálu využití. Nemají komutátor a díky tomu mají velmi dlouhou životnost. Stejně jako u asynchronních motorů dochází prakticky jen k opotřebování ložisek. NASA uvádí, že je používá pro vysokootáčkové aplikace, pohony ventilů, solárních panelů, pohon robotických ramen, ale i tam, kde je potřeba velmi lehké motory. Spolu s krokovými motory jsou nejrozšířenějším typem elektromotorů používaných v aplikacích pro letectví a vesmír. Mezi jejich výhody uvádí použití až do 100 000 otáček za minutu, vysoký moment (až dvojnásobný proti BDC motoru stejné velikosti), lepší možnosti chlazení díky vinutí na statoru (ne na rotoru jako u BDC) a vysokou účinnost. Jednoznačnou nevýhodou je vyšší cena a složitost řídicí elektroniky.

Na zemi se BLDC elektromotory používají v širokém spektru odvětví. V profesionálních filmových aplikacích se jejich široký rozsah otáček a vysoký moment používá ke stabilizaci kamer na gimbalech, armáda i civilní sektor je používají jako pohony do pozemních i létajících dronů o velikostech od několika desítek gramů po desítky kilogramů, najdeme je i v laboratorních centrifugách.

Díky své nízké hmotnosti se uplatňují i ve sportovním letectví, kde pohání ultralehká, sportovní, ale i experimentální letadla, jako například český EPOS firmy Evektor, využívající českého motoru Rotex Electric o výkonu 50kW [12]. Francouzský experimentální letoun E-Fan není určen pro sportovní létání, slouží společnosti Airbus jako testovací platforma a technologický demonstrátor. Používá ale BLDC elektromotory od stejné české firmy. BLDC elektromotor využívala i elektrická studentská formule fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze.



Obrázek 3: Evekter u svého letounu EPOS udává zhruba čtvrtinové náklady na „palivo“
oproti benzínové variantě s motorem Rotax



Obrázek 4: Elektrická „stíhačka“ E Fan společnosti Airbus slouží jako demonstrátor
využití elektro dmychadel v letecké dopravě



Obrázek 5: Firma Maxon vyrábí BLDC elektromotory o průměrech od 6 do 90mm, které pohánějí chirurgické nástroje i sondu Opportunity na planetě Mars

1.3.4 Krokové motory

Krokové motory jsou motory na stejnosměrný proud, mechanicky jsou v mnohém podobné BLDC motorům, ale používají se převážně pro aplikace, kde je potřebné přesné a jemné nastavení polohy. Například v CNC obrábění, natáčení směrových antén, robotice atp.

1.4 Možnosti dnešních baterií

Díky lehkým a výkonným akumulátorům a vyspělé elektronice postavené na polovodičových součástkách mají dnešní elektropohony velmi široké využití. Pokud jde o jejich mobilní aplikace, je jediným limitujícím faktorem zdroj energie, tedy baterie, kterou si musí prostředek vézt s sebou.

U baterie je potřeba zaměřit se na čtyři základní parametry: její kapacitu, zatížitelnost, dobu nabíjení a životnost. Tedy jak dlouho vydrží dodávat elektrickou energii v potřebném množství, jak dlouhou dobu pak trvá její nabíjení a kolikrát lze baterii vybit (než se změní její parametry mimo rozsah udávaný výrobcem). Současné lithiové akumulátory udělaly za posledních několik let obrovský krok kupředu, a tak na rozdíl od prvních Lithiových článků s povoleným nabíjením pod 1C (C udává násobek kapacity – pro 1Ah článek bude 1C odpovídat proudu 1A, 3C proudu 3A atd.) a doby

nabíjení přes jednu hodinu máme dnes k dispozici články s povoleným 10C nabíjením, které je možné nabít během několika málo minut (podle stupně vybití). Tyto rychlonabíjecí články se používají například v systémech KERS (kinetic energy recuperation systém – systém rekuperace kinetické energie) v závodních vozech Formule 1, kde je nutné do baterie dostat co největší množství energie během velmi krátké doby (typicky během brzdění). Výrobce baterií pro KERS je například FlightPower [13]. V běžném použití je ale kladen mnohem větší důraz na ekonomickou stránku provozu, proto je potřeba, aby baterie měla co nejdelší životnost (snesla co největší počet nabití s minimálním úbytkem využitelné kapacity).

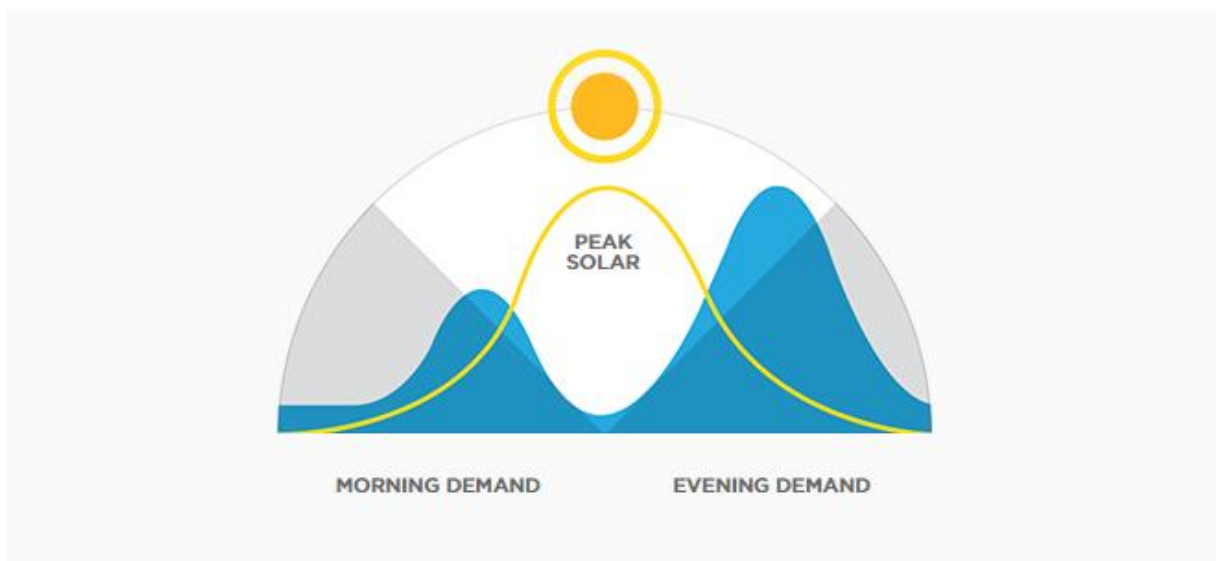


Obrázek 6: Lithiová baterie v otevřeném ochranném krytu je určena pro nejprodávavější elektromobil roku 2013 Nissan LEAF

To si odporuje s rychlým nabíjením vysokými proudy, které životnost baterie zkracují. Na anodách článků dochází k jevu označovanému v angličtině jako „Lithium Plating“. Ionty Lithia se přitom hromadí na povrchu anody a zhoršují elektrické vlastnosti článku a zkracují jeho životnost [16]. To není problém pro týmy Formule 1, které si mohou dovolit do nových baterií investovat, ale málokdo si může dovolit koupit baterie do rodinného vozu v hodnotě stovek tisíc několikrát za rok. V elektromobilech

je rychlost nabíjení omezena výrobcem instalovanou nabíječkou a provozovatel je chráněn zárukou, kterou výrobci na akumulátor poskytují.

Dalším aspektem nepřímo omezujícím použití baterií je rozvodná síť elektrické energie. Není reálně možné z běžné domácí přípojky po dobu několik minut odbírat několik set Ampér. V současné době je možné dobíjet elektromobily ze sítě během několika málo minut pouze s dostatečně výkonnou přípojkou do rozvodné sítě. To se ale může časem změnit s takzvanými SmartGrids sítěmi, které během nízkého zatížení sítě nebo přebytku energie (přes den ze solárních panelů) nabijí bateriové pole, nebo domácí baterie - například Tesla Motors vyvinuli baterie Powerwall a Tesla Energy. Tyto zásobníky elektrické energie lze vybit přes noc, kdy solární elektrárny nezasobují síť energií, a zároveň mohou vykrýt špičku vzniklou například připojením elektromobilů na nabíječky po příjezdu z práce. SmartGrids tak mohou celkově pomoci se stabilizací rozvodné sítě a přispět k optimalizaci denního odběru elektrické energie.



Obrázek 7: Modře je vyobrazena spotřeba energie v domácnostech, žlutě je výkon dodávaný solárními elektrárnami během dne

2. Využití elektropohonu u automobilů

2.1 Způsoby použití elektrických motorů v automobilech

Elektromotory se v automobilech používají buď samostatně, pak hovoříme o elektromobilech (EV – Electric Vehicle), nebo ve dvojici se spalovacím motorem, pak jde o vozidlo s hybridním pohonem (HEV – Hybrid Electric Vehicle nebo PHEV – Plug-in Hybrid Electric Vehicle).

2.1.1 Vozidla s paralelním hybridním pohonem

Paralelní hybrid je označení pro takové uspořádání spalovacího motoru a elektromotoru, kdy se oba motory mohou přímo podílet na pohonu kol vozidla. V praxi vozidlo může jezdit buď na elektromotor (obvykle má dojezd jen několik kilometrů), spalovací motor, nebo použít oba motory zároveň – například při rozjezdu pro snížení spotřeby paliva. Baterie elektromotoru se většinou dobíjí při brzdění rekuperací, nebo spalovacím motorem (který zároveň pohání kola). Příkladem vozidla s paralelním hybridním pohonem může být například Toyota Prius (která navíc používá starší Ni-MH baterie [17]).

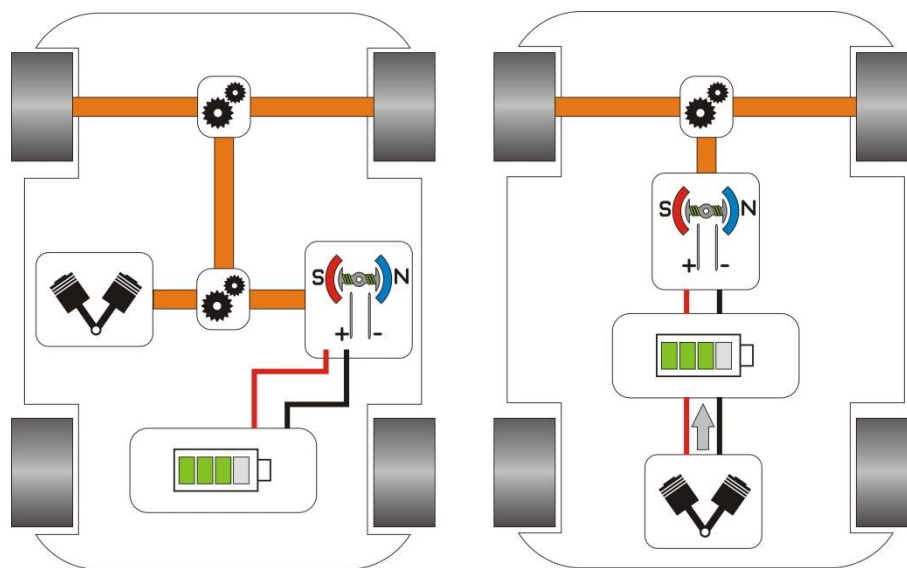
Paralelní hybridní pohon ale není pouze výsadou ekologických rodinných automobilů. Stejný princip pohonu používá sportovní BMW i8 [18]. Elektrický motor se stará o pohon předních kol, zatímco benzínový „tříválec“ pohání kola zadní. Celkový výkon obou motorů až 327kW pak stačí k zrychlení z 0 na 100km/h za 4,4s. S kombinovanou spotřebou 2,1l/100km lze říci, že se stále jedná o ekologické auto s nízkou spotřebou [19]. Mezi paralelní hybridy se řadí také McLaren P1 (673kW), Porsche 918 (661kW) a Ferrari LaFerrari (718kW). U těchto značek ale bývá nízká spotřeba na seznamu priorit velmi nízká.

2.1.2 Vozidla se sériovým hybridním pohonem

Hybridní vozidla se sériovým uspořádáním motorů používají elektrický motor (nebo více motorů) pro pohon kol a spalovací motor slouží pouze k výrobě elektrické energie pro elektromotor a dobíjení akumulátoru. Výhodou takového pohonu je, že spalovací motor pracuje ve svých optimálních otáčkách a pouze vyrábí elektřinu.

Nevýhodou může být vyšší hmotnost celé pohonné jednotky, ke spalovacímu motoru je nutné přidat ještě alternátor nebo dynamo.

Prvním konstruktérem, který použil tento způsob pohonu pro své vozidlo, byl pravděpodobně Prof. Ferdinand Porsche již v roce 1901 [20]. V dnešní době je tento druh hybridního pohonu používán například v BMW i3 vybaveném „Range Extenderem“, sériovým hybridem byl také luxusní Fisker Karma vybavený dvěma elektromotory o výkonu 240kW [21].



Obrázek 8: Symbolické schéma uspořádání paralelního (vlevo) a sériového (vpravo) hybridního pohonu.

2.1.3 Plug-in Hybridní pohony

Plug-in hybridní vozidla (PHEV) se dají na rozdíl od běžných hybridů (HEV) dobíjet z nabíjecí stanice nebo ze zásuvky. Uživatel může například v garáži nebo nákupním centru nabít akumulátor na 100% kapacity a ujet několik kilometrů pouze v elektrickém režimu. Plug-in hybridní pohony mohou mít jak paralelní, tak sériové uspořádání.

2.1.4 Elektromobil

Elektromobily (EV) jsou vozidla vybavená pouze elektromotorem. K napájení motoru slouží ve většině případů akumulátor, v některých případech palivové články – takové elektromobily se občas značí jako FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle).

Elektromobil napájený akumulátory může být pro uživatele vhodnější díky možnosti domácího nabíjení. Řidič bude mít „plnou nádrž“ již na počátku cesty.

Elektromobily vybavené palivovými články je potřeba tankovat stlačeným vodíkem, který v palivovém článku reaguje se vzdušným kyslíkem. Odpadním produktem jsou vodní páry. Protože se tento způsob napájení elektromobilů v Evropě zatím příliš nerozšířil, je i síť prodejců vodíku velmi řídká. To se do budoucna může snadno změnit, o pohonu vodíkem uvažuje například BMW pro typ i3, Hyundai začalo s výrobou vozu Tuscon ix35 FCEV již v roce 2013. Je nutné vzít v úvahu, že čerpání stlačeného vodíku do nádrže je komplikovanější než u benzínu, vyšší nebezpečí hrozí také v případě autonehody.

2.2 Způsoby nabíjení baterie

2.2.1 Dobíjecí stanice

Elektromobily se dají běžně nabíjet z „domácí“ zásuvky, nebo nabíjecích stanic. Stanice jsou k dispozici již běžně v nákupních centrech, na některých firemních parkovištích, nebo například u Národního divadla (adresa: Ostrovní 225/1). Dále někteří výrobci elektromobilů budují svoje vlastní sítě dobíjecích stanic, nejznámější jsou pravděpodobně Tesla Supercharger.

Dobíjecí stanice mají většinou udávaný maximální proud a napětí, jaké je k dispozici. Například již zmíněná stanice u Národního divadla umožňuje nabíjení ze střídavých 230V/16A 3,7kW připojení, nebo třífázové 400V/32A 22kW připojení konektorem Mennekes [24]. Ve skutečnosti tato stanice (provozovatelem je ČEZ) nabíjí na 400V konektoru proudem 32A pouze, pokud na druhé 220V zásuvce není připojeno druhé vozidlo. V případě připojení druhého elektromobilu dojde k omezení nabíjecího proudu na 16A (11kW) i na 400V zásuvce [25]. Při nabíjení střídavým proudem může být rychlost nabíjení omezena nabíječkou v elektromobilu. Například Nissan LEAF má vlastní nabíječku o výkonu 3,3/6,6kW a Tesla Model S disponuje nabíječkami 10/20kW.

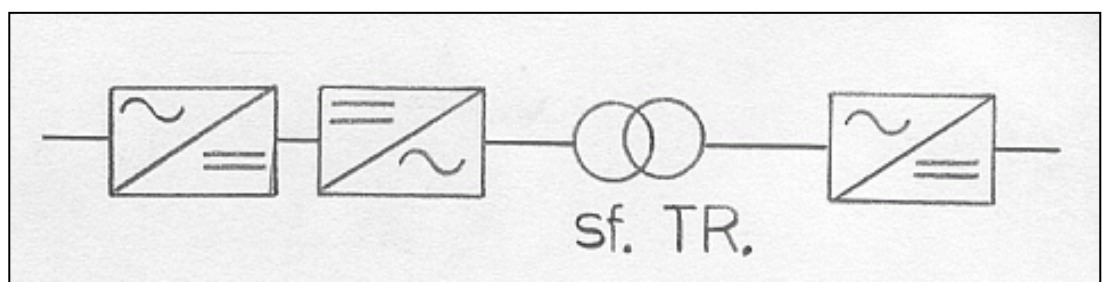
Rychlodobíjecí stanice většinou využívají standartu CHAdeMO a Combo 2, kdy je baterie dobíjena nabíječkou ve stanici stejnosměrným proudem, počítač v elektromobilu pouze poskytuje stanici informace o požadovaném napětí, proudu a

aktuálních parametrech baterie. Výhodou tohoto řešení je, že automobil vozí pouze menší nabíječku pro nabíjení z AC (domácích nebo třífázových) zásuvek, výkonné, ale velké a těžké rychlonabíječky jsou součástí infrastruktury.



Obrázek 9: Mapa dobíjecích stanic v České republice

Měniče používané v nabíjecích stanicích i nabíječkách k usměrnění střídavého proudu na stejnosměrný jsou dnes nejčastěji spínané. Střídavé napětí se nejprve převede na stejnosměrné. Následně se v invertoru převede na střídavé napětí o obdélníkovém průběhu frekvenci desítek kHz. Transformátorem se převede na potřebnou úroveň napětí a znovu usměrní. Usměrňovač obsahuje ještě vstupní a výstupní filtry, zpětnovazební regulaci, a další prvky.



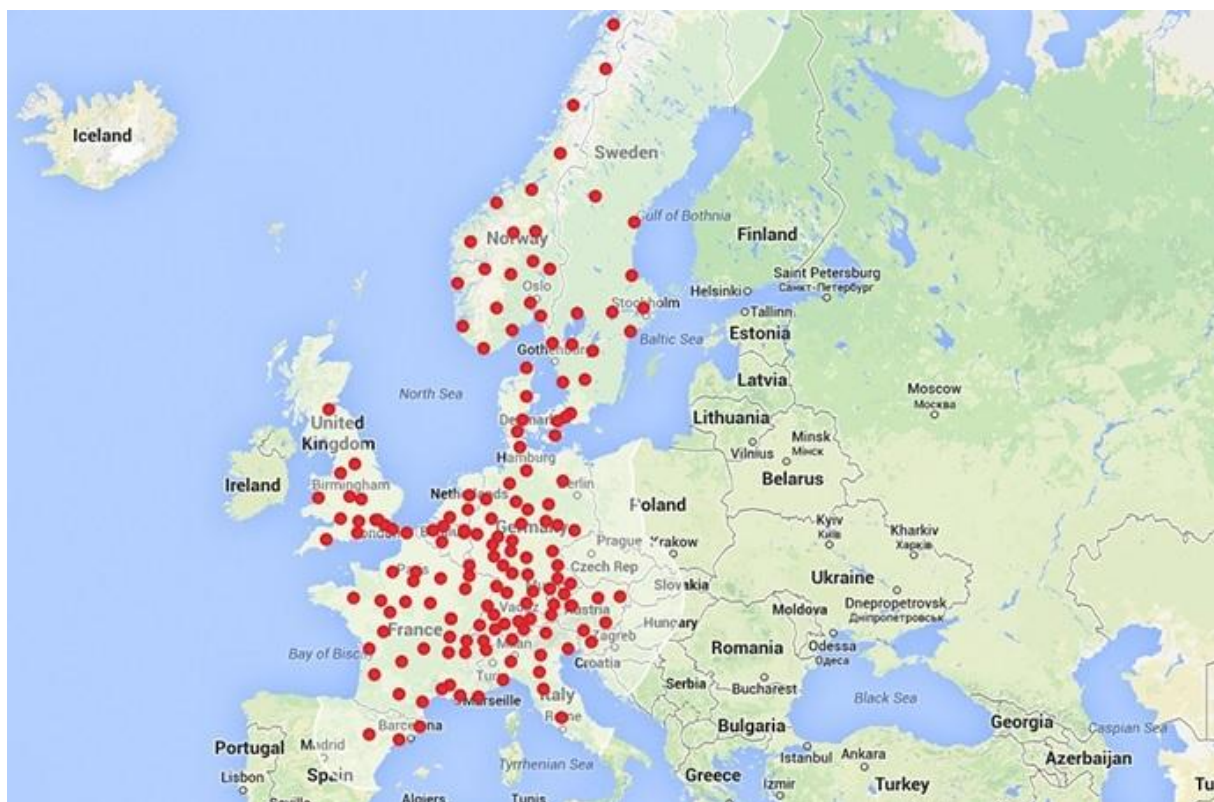
Obrázek 10: jednoduché blokové schéma spínaného usměrňovače

2.2.2 Dobíjecí stanice ČEZ

Zatímco „dobíjecí stanice normálního typu“ ČEZu disponují podle provozovatele výkonem 26kW, „ultrarychlá“ DC stanice v Duhové ulici umožňuje dobíjení až výkonem 50kW. Podle tiskové zprávy [26] dobije 80% kapacity akumulátoru do 20 minut, v praxi to může trvat výrazně déle. Například elektromobil Tesla Model S se tímto výkonem nabíjí 90 minut z 0 na 90% kapacity [25]. ČEZ, který provozuje nejvíce dobíjecích stanic v České republice, má k 24. Březnu 2015 funkčních 34 standardních a 8 rychlonabíjecích stanic. V plánu je rozšířit tuto síť na 100 stanic do konce roku 2015 [28]. ČEZ chce rozmisťovat stanice podle výkonu: 22-100kW budou rychlodobíjecí stanice poblíž hlavních tahů, 10-22kW stanice budou umístované v nákupních centrech a podobných místech s očekávanou kratší dobou parkování, a stanice s výkonem do 10kW budou k dispozici na parkovištích, kde se očekává například nabíjení přes noc [28].

2.2.2 Dobíjecí stanice Supercharger

Právě kvůli vysoké kapacitě akumulátoru v Modelu S začal výrobce Tesla Motors se stavbou vlastních nabíjecích DC stanic Supercharger. V Evropě je jich k 20. dubnu 148, a rychle přibývají. Tyto stanice mají výkon 135kW a jde s nimi nabíjet pouze elektromobily značky Tesla Motors. Nabití z 0 do 80% trvá podle výrobce 40 minut. To znamená, že při udávaném dojezdu 458km pro typ P85D tedy dobijete přes 9,1km dojezdu za minutu, pro typ P85 je udáván dojezd 430km a tomu odpovídá rychlost nabíjení 8,6km za minutu (dojezd je udáván v režimu „dálnice“ při rychlosti jízdy 105 km/h, venkovní teplotě 21°C a vypnuté klimatizaci [27]). Výpočet je založený na datech z 1.5.2015, udávaný výkon Superchargerů se v minulosti mírně měnil.



Obrázek 11: Mapa evropské sítě nabíjecích stanic SuperCharger ve stavu plánovaném na konec zimy 2014-2015

2.2.3 Domácí dobíjecí stanice

Pro domácí nabíjení je potřeba jedno nebo třífázová zásuvka. Do obyčejné zásuvky lze připojit nabíjecí kabel, nebo je možné nechat si instalovat výkonnější připojení (podle možností domácí přípojky) a takzvaný wallbox. Wallboxy mohou mít přímo nabíjecí kabel nebo zásuvku s konektorem pro nabíjení konkrétního automobilu, například Mennekes (používá BMW, Volkswagen, Mercedes-Benz), nebo Yazaki (Nissan, Peugeot, KIA). Z běžné domácí zásuvky s 16A jističem se dá nabíjet příkonem 3,7kW, pro jednofázové 7kW nabíjení je již potřeba 32A jistič. K 11kW wallboxu je potřeba 16A/380V (třífázově), 22kW vyžaduje 32A/380V třífázově. Wallboxy prodávají jak někteří výrobci elektromobilů, tak například E-ON a ČEZ.

Je samozřejmě možné používat jen klasickou zásuvku bez wallboxu, lepším řešením jsou ale třífázové zásuvky s 16A jističem, kterou má mnoho rodinných domů například pro napájení cirkulárky a podobných spotřebičů. Elektromobil Tesla Model S z ní dobije zhruba 55km za hodinu.

Rozvaděč nebo skříňka se zásuvkami v ceně několika stovek nebo tisíců korun je pro mnoho domácností (i firem) ideálním řešením k dobíjení elektromobilů. Například wallboxy nabízené na webu elektromobila.cz stojí přes 30 000kč vč. DPH už pro nejnižší výkon 3,7kW.



Obrázek 12: 5 kolíková 16A zásuvka

2.2.4 Rekuperace

Rekuperaci energie během brzdění podporují jen některé elektromobily a nejde o dobíjení baterie v pravém slova smyslu. Do akumulátoru se vrací pouze část energie, která byla odebrána při rozjezdu a jízdě. Rekuperace tedy technicky vzato nabíjí akumulátor, ale reálně pouze snižuje průměrnou spotřebu energie během jízdy.

2.3 Přehled parametrů elektromobilů

Na elektromobily se v dnešní době nelze dívat jako na homogenní skupinu vozidel. Důvodem je odlišný přístup výrobců k této kategorii vozidel. Na jednu stranu lze koupit malá vozidla jako například Smart ForTwo ED s výkonem motoru 55kW a

dojezdem 138km, na druhé může být sedmimístná Tesla Model S s výkonem motoru 285kW a dojezdem přesahujícím 400km. V následující tabulce uvádím nejprodávanější čtyři elektromobily podle žebříčku EV Sales [27]:

počty prodaných elektromobilů		
pořadí:	vozidlo:	prodaných kusů:
1	Nissan LEAF	171 836
2	Tesla Model S	66069
3	Renault Zoe	22755
4	BMW i3	22655

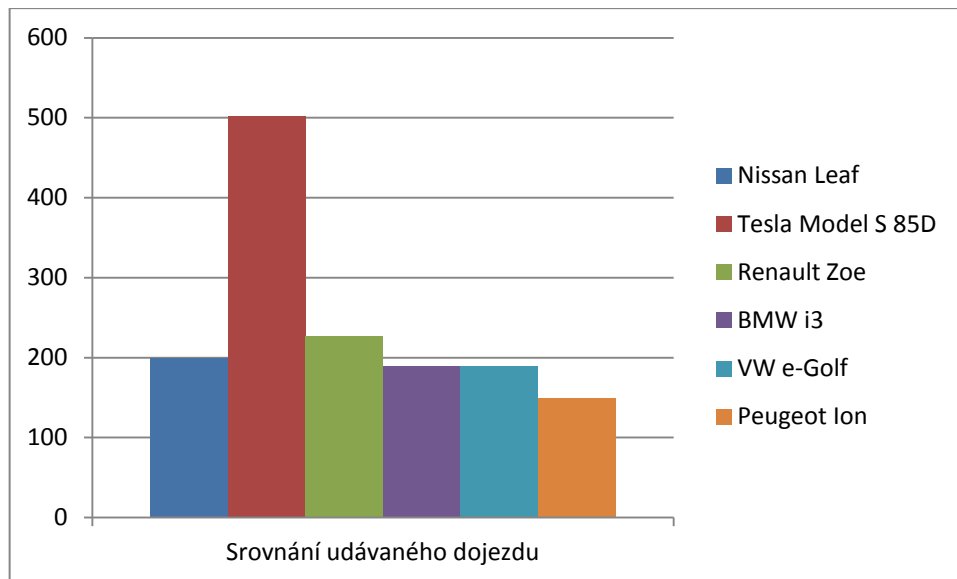
Tabulka 5: Nejprodávanější elektromobily podle EV Sales

Dále uvádím tabulku rozšířenou o další zajímavé elektromobily spolu se základními parametry. Je potřeba brát v úvahu, že například dojezd je uváděn vždy za určitých podmínek a proto se skutečné údaje mohou o něco lišit. V praxi záleží nejen na stylu jízdy, ale i na teplotě ovlivňující parametry baterie, valivém odporu použitých pneumatik, zapnutí klimatizace či topení a mnoha dalších parametrech.

vozidlo:	výkon motoru:	kapacita baterie:	dojezd:	palubní nabíječka:	zrychlení:	cena:
Nissan LEAF	80 kW	24 kWh	199km	3,3/6,6 kW	11,5 s	715 300 Kč
Tesla Model S 70D	245 kW	70 kWh	442 km	10/20 kW	5,4 s	63 700 €
Tesla Model S 85D	314,6 kW	85 kWh	502 km	10/20 kW	4,6 s	72 100 €
Tesla Model S P85D	515,2 kW	85 kWh	480 km	10/20 kW	3,3 s	89 100 €
Renault Zoe [28]	65 kW	22 kWh	227 km	7 kW	13,5 s	419 000 Kč
BMW i3 [29]	125 kW	18,8 kWh	190 km	-	7,2 s	936 000 Kč
VW e-Golf [31]	85 kW	24,2 kWh [32]	190 km	7,2 kW	10,4 s	915 900 Kč
Peugeot Ion [33]	47 kW	16 kWh	150 km	-	15,9 s	717 288 Kč

Tabulka 6: Základní parametry některých elektromobilů

Pozn: Tesla Model S není dodávána na Český trh, proto jsou uvedeny ceny z nabídky výrobce. Ceny neobsahují poplatky a daně.



Obrázek 13: Grafické srovnání dojezdu některých elektromobilů [km]

Na tomto místě bych se rád vrátil k použitým bateriím, které jsou nejnákladnější položkou při dlouhodobém provozování elektromobilu. Většina zdrojů udává životnost Lithiových akumulátorů mezi 500 a 2000 cykly, udávaná životnost se pohybuje kolem dvou až tří let (viz například [34]). Cena baterií pro elektromobily se pohybuje v řádech set tisíc korun. Za baterii do Nissanu LEAF zákazník zaplatí 130 000Kč [35], cena baterie do Tesly se podle některých neoficiálních informací pohybuje od 30 000 do 50 000USD, tedy přes 750 000Kč. Zajímavější je situace s poskytovanou zárukou. Peugeot iOn poskytuje záruku 3 roky nebo 50 000km, a to není příliš. O něco lepší podmínky nabízí Nissan, konkrétně 5 let nebo 100 000km [37]. Nejlepší podmínky se mi podařilo najít u Tesly, která poskytuje záruku 8 let bez omezení najetých kilometrů [30].

Jinou politiku zvolil Renault pro svůj elektromobil Zoe. Součástí pořizovací ceny totiž není baterie, tu Renault pronajímá za paušální poplatek 79€ měsíčně (částka je v Eurech, protože se Zoe v České republice oficiálně neprodává).

3. Specifikujte varianty elektropohonu a spalovacího motoru

3.1 Problematika srovnávání

Při specifikaci a přímém porovnání automobilů je potřeba brát v úvahu jejich konstrukci. Pokud bylo vozidlo původně navrženo pro pohon benzínovým nebo naftovým motorem, jsou konstruktéři při přestavbě na elektromobil do značné míry omezeni. Výkony elektromobilu jsou následně ovlivněny vynucenými kompromisy.

3.2 Parametry konkrétních vozidel

3.2.1 Škoda Octavia Green E Line a Octavia 1.4TSI

Příkladem může být Škoda Octavia Green E Line. Ta je oproti variantě s čtyřválcovým benzínovým motorem 1,4TSI těžší o 290kg. Elektrický motor má špičkový výkon až 85kW oproti 90 kW u 1,4TSI. Jízdní vlastnosti elektrického vozu se zhoršily, protože „přijatelné“ rozložení hmotnosti mezi nápravy rozhodla instalace lehčího motoru v přední části a 315 kg vážící baterie do zadní části vozidla. To mimo horšího chování elektromobilu v zatáčce způsobuje i problémy při prudších rozjezdech, kdy hnaná přední kola prokluzují [9]. Na jedno nabití 26,5kWh baterie Škoda Octavia Green E Line ujede až 140km. Škoda v současné době zkušebně provozuje 10 těchto elektromobilů, ale neplánuje jejich výrobu.

V následující tabulce je srovnání Škody Octavie E Green line s vozidly, které měly být původně určeny pro pohon elektromotorem. Aby srovnání mělo smysl, vybral jsem elektromobily s podobnou kapacitou akumulátoru a spočítal kolik kilometrů ujedou na 1kWh.

vozidlo:	kapacita baterie:	dojezd:	spotřeba: [km/kWh]	spotřeba: [kWh/100km]
Nissan LEAF [37]	24 kWh	199km	8,3	12,1
Renault Zoe [28]	22 kWh	227 km	10,3	9,7
BMW i3 [29]	18,8 kWh	190 km	10,1	9,9
VW e-Golf [31],[32]	24,2 kWh	190 km	7,9	12,7
Škoda Octavie E line [38]	26,5 kWh	140 km	5,3	18,9
Tesla Model S 70D	70 kWh	442 km	6,3	15,8

Tabulka 7: srovnání spotřeby některých elektromobilů

První čtyři automobily jsem do tabulky zařadil pro jejich podobnou kapacitu baterie zmiňované Škodě Octavii Green E Line. Hmotnost elektrické Octavie se pohybuje podobně jako u Nissanu LEAF kolem 1600kg [39]. Tesla v posledním řádku je ještě o něco těžší, její hmotnost přesahuje 2000kg, má hnaná všechna kola a i s tímto „handicapem“ a motory o výkonu 245kW ujede na každou spotřebovanou kilowatthodinu o jeden kilometr více. Benzínová Octavie 1.4 TSI ujede při udávané spotřebě 6,6l/100km 830km, tedy téměř šestinásobnou vzdálenost elektrické Octavie.

3.3.2 BMW Concept ActiveE

Automobilka BMW představila studii Concept ActiveE, který vychází z BMW řady 1. Elektromobil má výkon 125kW, tedy zhruba stejně jako běžné „dvoulitrové“ benzínové čtyřválcové motory. Concept Active E váží o 425kg více než benzínová řada 1 a pohotovostní hmotnost se vyšplhala na 1800kg. Tím utrpěly jízdní vlastnosti i dynamika, zrychlení z nuly na sto kilometrů za hodinu se protáhlo z 8 na 9 sekund. Maximální rychlost je navíc omezena na 145 kilometrů za hodinu. Protože jde v tomto případě o přestavbu auta na elektropohon, utrpěl i objem kufru, který se zmenšil z 370 litrů na 200. [40]



Obrázek 14: BMW Concept ActiveE

3.2.3 Audi e-tron

Podobně jako BMW a Škoda dopadlo Audi se sportovním vozem e-tron, který je znám mimo jiné z filmu Iron man 3. Na první pohled pouze elektrifikované Audi R8 je o několik centimetrů kratší. Při hmotnosti 1600 kg (z toho 470kg tvoří baterie) je o 40kg těžší než benzínová alternativa a se čtyřmi motory o celkovém výkonu 230kW zrychlí z nuly na sto kilometrů za hodinu za 4,8 s – za benzínovou R8 zaostává o dvě desetiny. Maximální rychlost e-tronu je úctyhodných 200 km/h, ale benzínová R8 zvládne těsně přes 300km/h. [5] Pro běžného uživatele je tento limit za hranicí využitelnosti auta na českých silnicích. Jednu vlastnost má s BMW Concept Active E a Škodou Octavií Green E Line společnou – Audi se rozhodlo, že e-tron nebude vyrábět.

3.2.4 VolksWagen e- Golf

Volkswagen e-Golf se na rozdíl od předchozích „elektrifikovaných“ aut skutečně dostal do sériové výroby. Oproti spalovacím motorem poháněnému Golfu má e-Golf pouze nepatrně menší zavazadlový prostor (341 oproti 343 litrům). Má dokonce lepší zrychlení, než naftová verze s motorem 1,6 TDI 81kW 4M – e-Golf zrychlí z 0 na 100km/h za 10,4s, naftová verze za 11,3s. Přehlednější srovnání se nachází v tabulce 8.

vozidlo:	VW e-Golf	VW Golf 1.6TDI 81kW 4M
Max. výkon motoru:	85 kW	81 kW
max. rychlost:	140 km/h	191 km/h
kombinovaná spotřeba:	12,7 kWh/100km	4,5l/100km
Objem zavazad. prostoru:	341-1231l	343-1233l
Pohotovostní hmotnost:	1585kg	1432kg
Užitečná hmotnost:	450kg	573kg
Převodovka:	automatická	manuální (6 st.)
Dojezd:	130-190km	1000+ km

Tabulka 8: Srovnání vozidel e-Golf a Golf 1,4 TDI 1.4 81kW 4M [41]

Pozn.: dojezd u naftového Golfu byl vypočítán z objemu nádrže 55l a udávané spotřeby 4-5,5l/100km.

4. Porovnejte varianty z ekonomického hlediska

Při počítání ceny provozu jednotlivých vozidel budu vycházet z vlastních reálných dat z provozu Škody Octavie II Combi s motorem 1.9TDI PD 77kW vybaveným automatickou šestistupňovou převodovkou DSG a z informací zjištěných od výrobců a servisů. Automobil používáme jako rodinný vůz. Je využíván jak k dopravě do práce, tak k cestám na dovolenou, mé tréninky, cesty na závody, i k přepravě materiálu a náradí související například se stavbou rodinného domu. Octavie byla koupena v březnu roku 2009 a ročně najede zhruba 22 000km se spotřebou nafty průměrně 5,0l/100km. Automobil je provozován především v menším městě a v mimo městském provozu. Tomu odpovídá započítané opotřebení – například brzdy podle techniků autorizovaného servisu vydrží zhruba 30 000 až 90 000km, podle stylu jízdy. V Pražském provozu, kde je řidič nucen často měnit rychlost nebo zcela zastavit budou mít brzdy podstatně kratší servisní intervaly, než v případě provozu s jakým počítám já.

Vzhledem k zaměření práce na běžné užívání automobilu pro osobní potřeby neuvažuji s možnostmi odpočtu DPH. Všechny uváděné ceny jsou tedy včetně DPH. Kurz použitý k přepočtu pořizovací ceny Tesly Model S je 27,39Kč za 1 Euro. Uvažované diskontní míry jsou nominální, včetně započítané inflace.

4.1 Pořizovací ceny a náklady na provoz automobilů

4.1.1 Nissan LEAF

Pořizovací cena Nissanu LEAF je 715 300Kč. Zcela jistě bych zvolil 6,6kW palubní nabíječku za příplatek 24 800Kč a Navigační systém Nissan Connect, který obsahuje mapu nabíjecích stanic. Navigační systém v ceně 21 000Kč zároveň obsahuje i rozhraní Bluetooth, které v současném rodinném automobilu máme a používám ho. Celková uvažovaná pořizovací cena Nissanu LEAF je tedy 760 800Kč včetně DPH.

Elektromobily mají povinné ručení v nejnižší kategorii (do 1l objemu válců motoru) bez ohledu na výkon elektromotoru, což může zejména u Tesly působit poněkud úsměvně. I když různé nabídky hovoří o povinném ručení do 1000Kč za rok, v praxi se tato částka může dostat výrazně výš. Zavolaal jsem do České pojišťovny a nechal si pro Nissan LEAF i Škodu Octavii (4.1.2) spočítat povinné ručení. Z nabídek jsem vybral nejdražší, ale nejrozšířenější variantu Exclusive. Protože nemám „na kontě“

bezškodné měsíce a jsem z pohledu pojišťovny stále mladý (a nebezpečný) řidič, nabídla mi pojišťovna po desetiprocentní slevě pojistku za 5176Kč na rok. Tato částka se může každým rokem snížit o započtené bezškodné měsíce. Kdybych měl 7 let bezškodných měsíců, stálo by mě povinné ručení pro Nissan LEAF pouze 3106Kč za rok. Částka se dále snižuje s rostoucím věkem řidiče. Při počítání ceny provozu budu cenu povinného ručení snižovat po dobu sedmi let lineárně se zanedbáním mého rostoucího věku. Reálně se s pojištěním mohu dostat na nižší částku, ale nemusím, pokud způsobím nehodu – za tu Česká pojišťovna odečte 36 bezškodných měsíců.

4.1.2 Škoda Octavia Fresh Ambition 1.6 TDI 81kW AP

Nissan LEAF srovnám s novou škodou Octavií (rok výroby 2015) s motorem 1,6 TDI 81kW s automatickou převodovkou. Automatickou převodovku volím pro to, aby bylo srovnání s elektromobilem co nejbližší. Cena Škody Octavie v provedení Fresh Ambition je 569 900Kč. Octavii je potřeba dovybavit na úroveň LEAFu, z volitelné výbavy vybírám například zadní stěrač (2700Kč) a navigaci Infotainment Columbus 8“ (38 000kč). Celková uvažovaná cena je 610 600Kč včetně DPH. Na rozdíl od LEAFu bude chybět například vyhřívaný volant, výhodou je například více airbagů nebo kola z lehkých slitin. Škoda Octavia má také větší zavazadlový prostor.

Povinné ručení pro Škodu Octavii jsem zjišťoval stejným způsobem jako u Nissanu LEAF (4.1.1). Protože jde o auto s naftovým motorem o objemu válců 1,6l, dostal jsem do vyšší cenové kategorie, cena za povinné ručení by byla 8410Kč, nebo 5046Kč se sedmi bezškodnými roky.

4.1.3 Tesla Model S 85D

Tesla nabízí na svých stránkách tři modely pro evropský trh: 70D, 85D a P85D. Číslo udává kapacitu baterie v kWh, D znamená náhon na všechna čtyři kola a P je „Performance“ varianta s výkonem motorů zvýšeným z 314,6 na 515,2 kW. Cena středního modelu 85D je v základní výbavě 75 600€, v přepočtu zhruba 2 071 000Kč. Zájemci si pro Teslu musí do továrny v Holandsku a podle p. Kubiše [25], majitele

jednoho z několika málo Modelů S v České republice, bylo nutné zaplatit ještě 21% DPH. Výsledná cena Modelu S 85D je 2 505 910Kč včetně DPH. Náklady na dopravu a na cestu zpět by se měly být nižší než 5000Kč, proto s nimi dále nepočítám.

Servis u Modelu S je podle provozní příručky podobný jako u Nissanu LEAF, každé dva roky je měněna brzdová kapalina, každé čtyři roky chladící kapalina a olej v diferenciálu se mění po dvanácti letech nebo ujetí 240 000km. Podle pana Kubiše lze s Modelem S jezdit z 95% bez použití brzd a i když svůj vůz nešetří, má prý brzdové destičky po 55 000km pouze mírně opotřebované. Ve výpočtech plánuji pouze výměnu kotoučů po 150 000km a cenu 20 000Kč. Výměna kapalin a olejů, brzdových destiček a dalšího materiálu a práce na vozidle pokryje předplacený osmiletý servis, který stojí přibližně 91 000Kč na 8 let nebo 161 000km. Další servisní prohlídky stojí přibližně 14 500Kč a podle servisního plánu stačí provádět plánovanou údržbu každý druhý rok.

Protože mi v České pojišťovně nebyli schopní spočítat povinné ručení na vozidla značky Tesla Motors, zkusil jsem online kalkulačtor ePojisteni.cz. Ani zde jsem nepochodil, použil jsem proto pro výpočet částku 1096Kč, kterou platí p.Kubiš.

4.1.4 Audi A8

Jako konkurenta Modelu S jsem vybral Audi A8 s vybavenou motorem benzínovým 4.0 TFSI, náhonem na všechna čtyři kola a osmistupňovou automatickou převodovkou Tiptronic. Spolu s příplatkem za barvu laku podobnou Modelu S jsem se dostal na cenu 2 534 000Kč. Rozdíl v pořizovací ceně obou vozů se liší o 1,1%. Dalšími konkurenty by (podle majitele Tesly D. v/d Vechta) mohlo být například BMW řady 5 a 7.

Podobně jako u Modelu S jsem zvolil předplacený servisní balíček, který ale Audi nabízí maximálně na 5 let nebo 150 000km. Díky vyšší náročnosti na údržbu výkonného benzínového motoru je tento balíček dražší, ve verzi Audi Service (kryje náklady na servisní prohlídky i výměny oleje) stojí 121 013Kč. Po uplynutí pěti let je potřeba zaplatit servis individuálně, počítal jsem s částkou 5000kč. Tuto položku jsem v některých případech spojil se servisem brzd (abych pokryl daných 7 let s co nejmenším počtem návštěv servisu). Podobně jako u Modelu S jsem počítal náklady 20 000Kč na servis brzd, ale v intervalu 60 000km. O kolik se částka bude ve skutečnosti lišit není příliš podstatné, protože ve srovnání s náklady na benzín je (stejně

jako další drobné položky) zanedbatelná. Větší vliv na srovnání Modelu S a A8 bude mít kurz Koruny proti USD nebo Euru a v budoucnu cena baterií. To ovlivní pořizovací cenu elektromobilu. U Audi bude hrát roli cena benzínu.

Abych mohl srovnat cenu povinného ručení s elektromobilem, nechal jsem si online kalkulátorem ePojisteni.cz spočítat nabídky pro A8. Cena se odvíjí i od místa bydliště a věku majitele, proto jsem zadání přizpůsobil tak, aby byla pojistka srovnatelná s pojistkou na Model S. Nejlevnější nabídka byla AXA Standard za 7904Kč s limitem plnění 35 milionů Kč. Tu jsem použil do výpočtů.

4.2 Cena nafty

Abych mohl srovnat automobily poháněné naftou s elektromobilem, je nutné určit odhadnout cenu nafty. Průměrná cena nafty v okrese České Budějovice se od roku 2012 do poloviny roku 2014 držela poměrně stabilně kolem 36Kč za litr. Během několika posledních měsíců ale došlo ke značnému poklesu a trend vývoje není jednoznačný. Průměrnou cenu nafty pro následujících 7 let proto odhaduji na 33Kč za litr.



Obrázek 15: Vývoj ceny nafty od 1.4.2010 do 1.4.2015

Z citlivostní analýzy zpracované při porovnávání Nissanu LEAF a Škody Octavie (4.5) je patrné, že rozptyl ceny nafty mezi 31Kč/l a 35Kč/l ovlivní výsledek (při nájezdu 22 000km ročně a diskontování 1,5%) pouze o +/- 1,26% - tedy 11 032Kč na jednu nebo druhou stranu. To je částka nižší než například cena výměny dvou hmotnostního setrvačnicku (kterou, jak mám z vlastní zkušenosti ověřeno, může být nutné provést).

Škoda Octavia III 1.6 81kW AP	Roční nájezd 22 000km, r = 1,5%			
NPV (31 Kč/l)	867 783 Kč	Odchylka:	-1,26%	11 032 Kč
NPV (33 Kč/l)	878 815 Kč			
NPV (35 Kč/l)	889 847 Kč	Odchylka:	1,26%	11 032 Kč

Tabulka 9: Vliv ceny nafty na NPV (4.5)

S cenou nafty 33Kč/l při plánovaném nájezdu 22 000km bude stát roční spotřeba paliva Octavie III 1.6 TDI 81kW AP přibližně 27 588Kč (při udávané kombinované spotřebě 3,8l/100km).

4.3 Cena benzínu

Stejně jako cenu nafty jsem odhadl i cenu benzínu. Z grafu vývoje ceny od 1.4.2010 do 1.4.2015 v Českobudějovickém okrese je vidět, že cena benzínu byla o něco méně stabilní než cena nafty. Cenu za jeden litr na příštích 7 let odhaduji na 34Kč.



Obrázek 16: Vývoj ceny benzínu od 1.4.2010 do 1.4.2015

4.4 Cena elektřiny

Elektřinu pro rodinný dům v okrese České Budějovice odebíráme od distributora E.ON Energie. V současné době využíváme tarif D65d – dvoutarifová sazba pro vytápění s tepelným čerpadlem. Jističe spadají do kategorie „nad 3x20A do 3x25A včetně“.

V případě koupě elektromobilu by se vyplatilo přejít na tarif D27d – Elektromobil. Při stávající spotřebě elektrické energie (použil jsem hodnoty z období 10/2013-10/2014) a aktuálních cenách by úspora dosáhla 5 123Kč za rok.

	Sazba	VT [MWh]	NT [MWh]	E.ON Energie / Elektřina
Tepelné čerpadlo	D56d	0,294	8,296	25 007 Kč
Elektromobil	D27d	0,294	8,296	19 884 Kč
			rozdíl:	5 123 Kč

Tabulka 10: Rozdíl v cenách elektřiny se současným tarifem D56d a tarifem D27d Elektromobil

Při výpočtu ceny provozu elektromobilu toto zvýhodnění uplatním a cenu elektřiny budu považovat za dlouhodobě stálou. Ve skutečnosti se cena může změnit, v současné době se například uvažuje o cenách elektrické energie z OZE závislé na velikosti jističe [44].

U elektromobilů předpokládám, že 60% kapacity během roku bude nabíjeno na nabíjecí stanici ČEZ, která je k dispozici na parkovišti elektrárny Temelín. Elektromobil se tak může po celý týden podle potřeby dobíjet během pracovní doby (například v pondělí po víkendových cestách a ve čtvrtek a pátek před delší cestou během víkendu). V pátek tím pádem bude k dispozici nabité auto na maximální dojezd mínus 7km ujetých z firemního parkoviště k domu. Poplatek za nabíjení na stanicích ČEZ je paušální, 150Kč za měsíc.

Zbylých 40% energie (předpokládám) bude dobíto z domácí standardní nebo třífázové zásuvky. Nabíjení smí podle distributora E.ON probíhat pouze v době nízkého tarifu. Přičetl jsem spotřebu uvažovaných elektromobilů k domácí spotřebě (Tabulka 9) a ceny elektrické energie jsem spočítal opět kalkulátorem cen energií [43].

Vozidlo:	LEAF	VW e-Golf	Model S 85D
spotřeba: [kWh/100km]	12,1	12,7	17
spotřeba kWh za rok* [kWh]	2662	2794	3740
dobíjení doma (40%) [kWh]	1064	1117	1496
VT (domácí spotřeba [kWh])	294	294	294
NT (spotřeba vč. Elektromobilu[kWh])	9360	9413	9792
Celkem platba za el.	21 975 Kč	22 079 Kč	22 824 Kč
Z toho za dobíjení el. Vozu	2 091 Kč	2 195 Kč	2 940 Kč
Roční paušální poplatek za ČEZ stanice:	1 800 Kč	1 800 Kč	1 800 Kč
Dobíjení elektromobilu celkem:	3 891 Kč	3 995 Kč	4 740 Kč

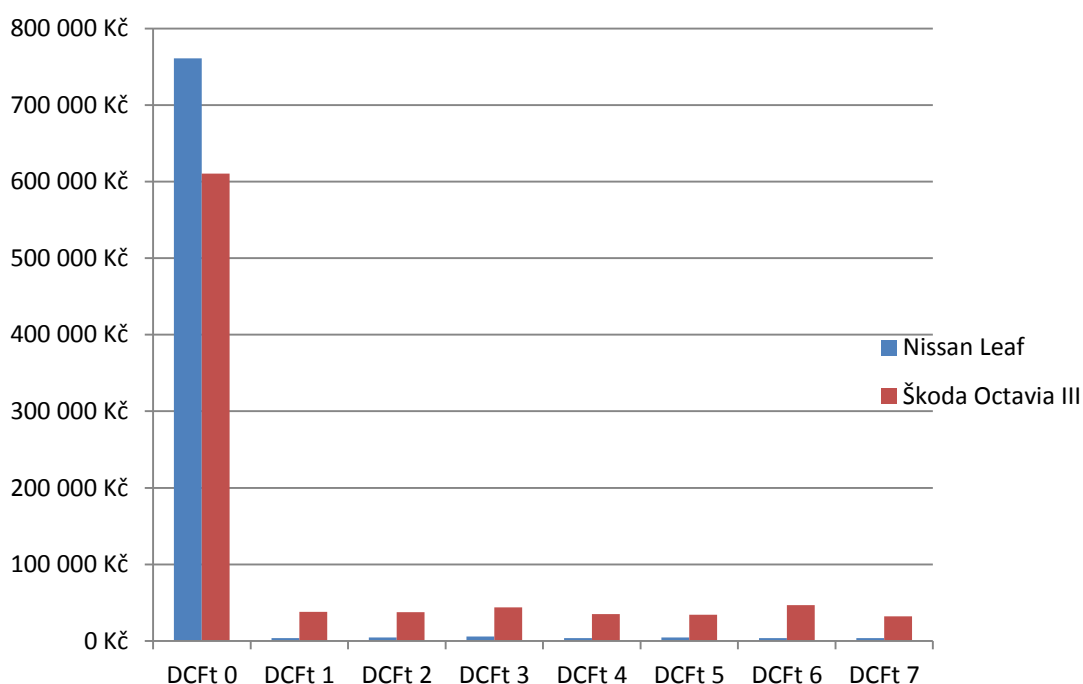
Tabulka 11: Náklady na dobíjení elektromobilu při nabíjení 60% na ČEZ stanicích a 40% z domácí přípojky. *) Roční spotřeba při výrobcem udávané spotřebě a ročním nájazdu 22 000km.

4.5 Porovnání Nissanu LEAF a Škody Octavie III

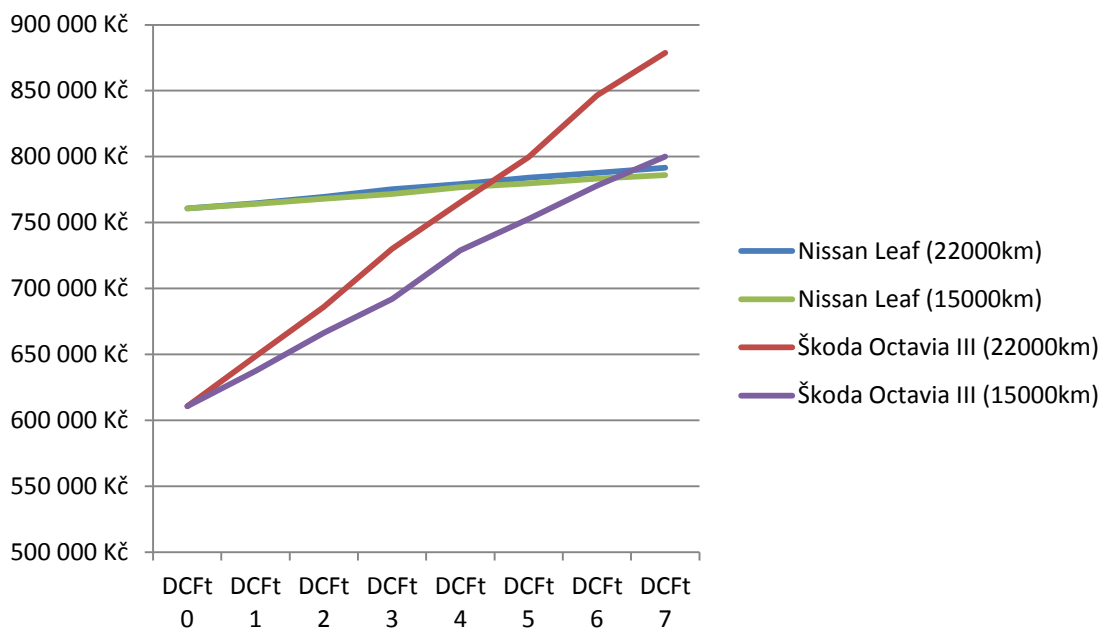
Pro ekonomické porovnání obou automobilů jsem sestavil tabulky nákladů na provoz a spočítal NPV pro dobu provozu sedmi let. Počítal jsem pouze s položkami,

kteře se z nějakého důvodu u obou vozidel liší – například servis brzd. U naftového nebo benzínového vozidla dochází obvykle k vyššímu opotřebení brzdnych destiček a kotoučů, zatímco elektromobil brzdí elektromotorem a rekuperuje energii. Zajímavá je také cena pylového filtru, která je u obou vozidel velmi podobná, ale Nissan si k ní počítá ještě hodinu práce a provádí kontrolu automobilu. U Octavie servis provádí kontrolu při výměně oleje v motoru (a cena práce je tak započtena tam). Ceny se dále mohou lišit podle času, který si servis naučtuje a podle výrobce náhradního dílu. Pro úplnost uvádím, že pod jednotlivými položkami (např. výměna oleje) se skrývá víc náhradních dílů (u oleje obvykle ještě filtr, těsnění, ...).

Záměrně jsem nezapočítával položky, které jsou u obou vozidel podobné, nebo nemají pevně danou cenu. Proto v tabulce nejsou uvedeny například náklady na pneumatiky, u kterých se cena výrazně liší podle použité značky a jejich životnost velmi závisí na stylu jízdy. Dalším příkladem může být doplnění kapaliny v klimatizaci. Podle servisu Škoda poměrně individuální a záleží na uniklém množství. To vyplývá i z mých zkušeností s „referenční“ Octavií II.



Obrázek 17:Roční DCFt ($r=1,5\%$) pro Škodu Octavii a Nissan LEAF při ročním nájezdu 22 000km



Obrázek 18: Kumulované DCFT ($r=1,5\%$) pro LEAF a Octavii III při různém ročním nájezdu km.

Z grafů je dobře vidět, že vyšší pořizovací cena LEAFu je následně kompenzována velmi nízkými náklady na provoz elektromobilu. V následujících tabulkách uvádím NPV vypočítané pro hodnoty $r=1,1\%$, $r=1,5\%$ a $r=1,8\%$, roční nájezd 15 000, 22 000 a 29 000km a dobu provozu 7 let.

Škoda Octavia III 1.6 81kW AP		Nissan LEAF	
Roční nájezd 15 000km			
NPV ($r=1,1\%$)	802 891 Kč	NPV ($r=1,1\%$)	782 003 Kč
NPV ($r=1,5\%$)	799 965 Kč	NPV ($r=1,5\%$)	781 669 Kč
NPV ($r=1,8\%$)	797 814 Kč	NPV ($r=1,8\%$)	781 424 Kč
Roční nájezd 22 000km			
NPV ($r=1,1\%$)	883 062 Kč	NPV ($r=1,1\%$)	792 003 Kč
NPV ($r=1,5\%$)	878 815 Kč	NPV ($r=1,5\%$)	791 526 Kč
NPV ($r=1,8\%$)	875 695 Kč	NPV ($r=1,8\%$)	791 176 Kč
Roční nájezd 29 000km			
NPV ($r=1,1\%$)	956 735 Kč	NPV ($r=1,1\%$)	803 492 Kč
NPV ($r=1,5\%$)	951 286 Kč	NPV ($r=1,5\%$)	802 757 Kč
NPV ($r=1,8\%$)	947 283 Kč	NPV ($r=1,8\%$)	802 218 Kč

Tabulka 12: NPV pro Škodu Octavii a Nissan LEAF

Při ročním nájezdu 15 000km je cena obou automobilů podobná, Nissan LEAF je o zhruba 20 000Kč (2%) levnější. Při 22 a 29 000km již vychází výrazně levněji

elektromobil Nissan LEAF, při nájedzu 29 000km činí rozdíl přes 100 000Kč. Pro úplnost uvádím ještě zjednodušenou tabulku CF pro nájedz 22 000km, kompletní tabulky jsou v elektronických přílohách.

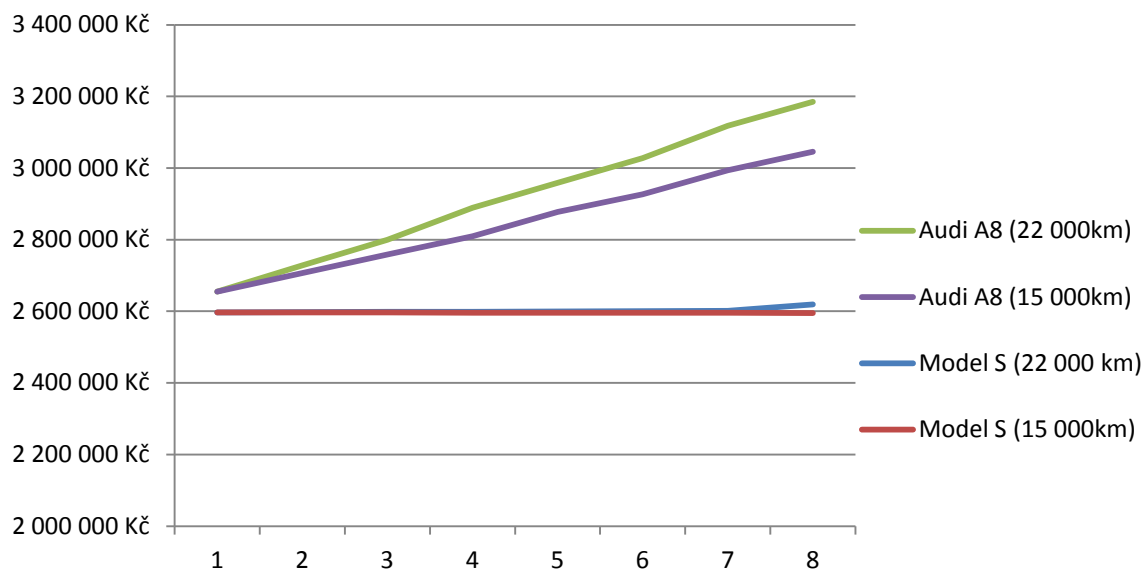
S výsledkem této rozvahy mohou zahýbat položky za neplánovaný servis. U Škody Octavie může jít o výměnu turbodmychadla, nebo rozvodů a kladek (dohromady necelých 50 000Kč). U Nissanu může být nutná výměna nebo oprava baterie. O možnosti opravy (výměny jednotlivých vadných článků) jsem zatím neslyšel z oficiálních zdrojů. Její případná pozáruční výměna v současné době stojí 130 000Kč. Tato částka v podstatě srovnává rozdíl v NPV mezi tímto elektromobilem a Škodou Octavií při vyšších ročních nájedzech. Dá se ale předpokládat, že ceny baterií budou v příštích letech klesat, za to ceny náhradních dílů pro benzínové a naftové motory již výrazně zlevnit nemohou.

Škoda Octavia III 1.6 81kW AP	CF0	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7
Nájezd [km] (kumulovaný)		22000	44000	66000	88000	110000	132000	154000
Pořizovací cena	610 600 Kč							
Nafta		27 588 Kč	27 588 Kč	27 588 Kč	27 588 Kč	27 588 Kč	27 588 Kč	27 588 Kč
Povinné ručení		8 410 Kč	7 849 Kč	7 289 Kč	6 728 Kč	6 167 Kč	5 607 Kč	5 046 Kč
Servis brzd		0 Kč	0 Kč	7 000 Kč	0 Kč	0 Kč	14 000 Kč	0 Kč
Výměna oleje v převodovce		0 Kč	0 Kč	3 531 Kč	0 Kč	0 Kč	3 531 Kč	0 Kč
Výměna motorového oleje		2 500 Kč	2 500 Kč	0 Kč	2 500 Kč	2 500 Kč	0 Kč	2 500 Kč
Výměna pylového filtru		0 Kč	650 Kč	650 Kč	650 Kč	650 Kč	650 Kč	650 Kč
CFt	610 600 Kč	38 498 Kč	38 587 Kč	46 058 Kč	37 466 Kč	36 905 Kč	51 376 Kč	35 784 Kč
DCFt (r=1,5%)	610 600 Kč	37 929 Kč	37 455 Kč	44 046 Kč	35 300 Kč	34 258 Kč	46 985 Kč	32 242 Kč
NPV (r=1,5%)	878 815 Kč							
Nissan LEAF	CF0	CF1	CF2	CF3	CF4	CF5	CF6	CF7
Nájezd [km] (kumulovaný)		22000	44000	66000	88000	110000	132000	154000
Pořizovací cena	760 800 Kč							
Elektrická energie		3 891 Kč	3 891 Kč	3 891 Kč	3 891 Kč	3 891 Kč	3 891 Kč	3 891 Kč
Povinné ručení		5 176 Kč	4 831 Kč	4 486 Kč	4 141 Kč	3 796 Kč	3 451 Kč	3 106 Kč
Servis brzd		0 Kč	0 Kč	564 Kč	0 Kč	0 Kč	564 Kč	0 Kč
Výměna chladicí kapaliny		0 Kč	0 Kč	1 190 Kč	0 Kč	1 190 Kč	0 Kč	1 190 Kč
Výměna filtru klimatizace		0 Kč	1 252 Kč	1 252 Kč	1 252 Kč	1 252 Kč	1 252 Kč	1 252 Kč
Rozdíl ceny domácí spotřeby el.		-5 123 Kč	-5 123 Kč	-5 123 Kč	-5 123 Kč	-5 123 Kč	-5 123 Kč	-5 123 Kč
CFt	760 800 Kč	3 944 Kč	4 851 Kč	6 260 Kč	4 161 Kč	5 006 Kč	4 035 Kč	4 316 Kč
DCFt (r=1,5%)	760 800 Kč	3 886 Kč	4 709 Kč	5 986 Kč	3 920 Kč	4 646 Kč	3 690 Kč	3 888 Kč
NPV (r=1,5%)	791 526 Kč							

Tabulka 13: Výpočty CF a NPV pro LEAF a Octavii (r=1,5%, nájezd 22 000km ročně)

4.6 Porovnání Audi A8 a Tesly Model S 85D

Na rozdíl od Nissanu a Škody (4.5) začíná A8 a Model S na téměř stejné ceně. Cenový rozdíl se prohloubí o to víc, že A8 má výrazně vyšší spotřebu než Octavie.



Obrázek 19: Kumulované DCFt ($r=1,5\%$) pro Model S a A8 při různém ročním nájedzu km

U Audi je v grafu téměř lineární růst, protože většinu ročních nákladů tvoří pohonné hmoty (45 resp 66 000Kč). Naopak Tesla se při nájedzu 22 000km za rok drží v podstatě v rovině, protože roční náklady na provoz jsou pod 1000Kč. To je dáno nízkými náklady na dobíjení, které činí 4740Kč za rok, levným povinným ručením a přičtením úspory za běžnou domácí spotřebu elektrické energie díky tarifu elektromobil -5123Kč za rok. Drobný skok na konci je způsoben výměnou brzdových kotoučů. Při nájedzu 15 000km dokonce vychází roční náklady provoz v mínus – úspora za běžnou domácí spotřebu převyšuje započtené náklady na provoz. Připomínám, že nepočítám s položkami, jako jsou pneumatiky, které mají různou životnost i cenu, ale spolu s dalšími drobnými náklady ve skutečnosti otočí náklady zpět do plusu (tedy víc zaplatím, než ušetřím).

Nízké roční náklady na provoz oproti Nissanu LEAF jsou dány předplaceným servisem v době CF0. Ten zahrnuje běžné servisní zákroky a výměny kapalin a dílů, které jsem u LEAFu počítal do jednotlivých let (podle toho jak je servis plánován).

Audi A8		Tesla Model S 85D	
Roční nájezd 15 000km			
NPV (r=1,1%)	3 052 376 Kč	NPV (r=1,1%)	2 595 422 Kč
NPV (r=1,5%)	3 046 021 Kč	NPV (r=1,5%)	2 595 445 Kč
NPV (r=1,8%)	3 041 354 Kč	NPV (r=1,8%)	2 595 462 Kč
Roční nájezd 22 000km			
NPV (r=1,1%)	3 193 518 Kč	NPV (r=1,1%)	2 620 214 Kč
NPV (r=1,5%)	3 185 073 Kč	NPV (r=1,5%)	2 619 635 Kč
NPV (r=1,8%)	3 178 868 Kč	NPV (r=1,8%)	2 619 212 Kč
Roční nájezd 29 000km			
NPV (r=1,1%)	3 334 398 Kč	NPV (r=1,1%)	2 639 918 Kč
NPV (r=1,5%)	3 323 774 Kč	NPV (r=1,5%)	2 638 876 Kč
NPV (r=1,8%)	3 315 968 Kč	NPV (r=1,8%)	2 638 115 Kč

Tabulka 14: NPV pro Audi A8 a Teslu Model S

Celé tabulky s výpočty jsou v příloze na konci této práce. Audi A8 oproti Modelu S vychází při sedmiletém již provozu nejnižším uvažovaném ročním nájezdu výrazně draž, rozdíl se pohybuje okolo 450 000Kč (15%). Zamyslel jsem se nad tím, zda by nebylo lepší srovnávat Model S s některou z méně výkonných verzí A8 s nižší spotřebou. Právě akcelerace je ale jednou z věcí, které si majitelé na Modelech S cenní nejvíce. A i když Model S 85D ztrácí na Audi přibližně 6 kW, je díky vyššímu krouticímu momentu rychlejší z 0 na 100km/h (4,4s oproti 4,5s). Mezi další výhody Modelu S patří větší úložný prostor (Model S má kufr i v přední části) a podle testů U.S. National Highway Traffic Safety Administration je bezpečnější. Svému protějšku Audi A8 nemůže konkurovat dojezdem.

4.7 Shrnutí

Z porovnání LEAFu a Octavie vyplývá, že by LEAF měl být jasnou volbou. Je ale nutné brát v úvahu, že stále nejde o dva konkurenceschopné automobily. Nissan LEAF má podstatně menší zavazadlový prostor (210l/1100l [45] oproti 590l/1580l [46]) a dojezd 200km je zkrátka pro potřeby některých uživatelů nedostatečný. Pro dopravu po větším městě a okolí mohou být menší rozměry naopak výhodou a dojezd nejspíš

bude dostatečný. První otázkou při rozhodování by mělo být, zda bude elektromobil v této třídě (ať již LEAF nebo velmi podobný e-Golf) stačit parametrově.

Z ekonomického hlediska již jde o zajímavou alternativu k tradičním automobilům. A může vypadat ještě zajímavěji, pokud se podaří Nissan LEAF po plánovaných sedmi letech prodat. V současné době si ale netroufám odhadovat, jak si budou dnešní elektromobily v této třídě proti Škodě Octavii držet cenu. Takový odhad by mohl do výsledku vnést zásadní chybu.

Jiná je situace s Modelem S a Audi A8. Model S je poměrně velké auto a dojezd pohybující se (realisticky) mezi 400 a 500km bude vyhovovat širšímu okruhu uživatelů. Stejný názor má i kolega a majitel Modelu S D.v/d Vecht, který mi řekl, že menší automobil by mu pro jeho potřeby nestačil a od automobilu potřebuje dojezd minimálně 350km. Se svou Teslou Model S85 prý ujel za rok 35 000km. Díky nízkým provozním nákladům může Model S cenou konkurovat i levnějším automobilům s benzínovými a naftovými motory. Poskytovaná záruka 8 let na baterii a pohonnou jednotku by měla zajistit, že náklady neporostou. Oproti tomu například výměna turbodmychadla u Octavie se pohybuje přes 30 000kč, a výkonnější automobily mívají turbodmychadla dvě. Je tedy pravděpodobné, že cena údržby spalovacích se časem bude zvyšovat víc, než mám započteno v tabulkách, a hodnota vozidla bude klesat rychleji než u elektromobilu.

Závěr

Z čistě ekonomického úhlu pohledu je provoz elektromobilu levnější, než provoz automobilu vybaveného spalovacím motorem. Mimo jednodušší a levnější údržby (neuvažují-li výměnu baterie) jsou elektromobily levnější i ve spotřebě elektrické energie, která je v dnešní době výrazně levnější, než pohonné hmoty jako benzín a nafta.

I přes to si myslím, že čas elektromobilů teprve přijde. Vozidla dnes dostupná na trhu totiž nepokrývají potřeby širšího spektra zájemců. Elektromobily jako Nissan LEAF, Volkswagen e-Golf, Ford Focus electric se všechny pohybují ve stejné kategorii a všechny svým dojezdem pokryjí jen určitý okruh zájemců, kteří si vystačí s dojezdem pod 200km. Cenově jsou ale (troufám si říci) dostupné a s klesající cenou akumulátorů se dá předpokládat, že cena podobných vozidel v budoucnu ještě klesne a nabídka se rozšíří.

Pro masové rozšíření elektromobilů v České republice zatím chybí infrastruktura. Nedovedu si dobře představit, jak bych elektromobil provozoval například v Praze, kde vozidlo nemohu nabíjet přes noc zaparkované na sídlišti, ale pouze při návštěvě nabíjecích stanic. Elektromobily totiž vychází z předpokladu, že auto většinu času stojí a může se nabíjet (například doma v garáži). Odeberu-li tuto možnost, mohu automobil nabíjet v práci. Množství nabíjecích stanic u v Praze a okolí je ale velmi malé a neumožní nabíjení většího množství elektromobilů. Dobrou zprávou je, že nabíjecích stanic každým rokem přibývá.

I tak se nedá předpokládat, že bude možné nabíjet všude. Například já jezdím přes zimu několikrát za měsíc na trénink do areálu učiliště, kde nemám k dispozici zásuvku, natož dobíjecí stanici (ani nepředpokládám, že by v příštích letech byla k dispozici). S předpokládaným dojezdem 200km bych měl rezervu prakticky nulovou. Stejně tak by bylo nepříjemné několik desítek kilometrů od cíle zastavit a hodinu nabíjet. Tento problém si uvědomila i automobilka Tesla Motors, která oznámila vývoj elektromobilu Model 3 s plánovaným dojezdem přes 300km a zajímavou cenou kolem 30 000 USD (přibližně 900 000Kč).

Závěrem se dá říci, že elektromobily fungují, jsou spolehlivé a mohou být ekonomicky výhodné. Se svými požadavky (potřebuji dojezd a velikost, ale není možné investovat 2 500 000Kč do Modelu S) si ale musím na vhodný elektromobil počkat.

Seznam použitých zdrojů

- [1]: Moritz Hermann Jacobi. *Wikipedia* [online]. 14.4.2013 [cit.2014-12-02]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Moritz_Hermann_Jacobi
- [2]: History of the electric vehicle: First practical electric cars. *Wikipedia* [online]. 3.4. 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_the_electric_vehicle#First_practical_electric_cars
- [3]: Elektromobily: Historie elektromobilu. *Enviwiki* [online]. 11.6.2013 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <http://www.enviwiki.cz/wiki/Elektromobily>
- [4]: Camille Jenatzy. *Wikipedia* [online]. 11.2.2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Camille_Jenatzy
- [5]: Can the Lead-acid Battery Compete in Modern Times?. *Battery University* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/can_the_lead_acid_battery_compete_in_modern_times
- [6]: What's the Best Battery?. *Battery University* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_best_battery
- [7]: Energy density: Introduction to energy density. *Wikipedia* [online]. 6.4.2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density#Introduction_to_energy_density
- [8]: Zákaz Hg a Cd. *Elektrowin.cz* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.elektrowin.cz/cs/vyrobci-a-dovozci/zpetny-odber-baterii-a-akumulatoru/zakaz-hg-a-cd.html>
- [9]: Jak jezdí elektrická Škoda Octavia?. ČERVENKA, Jiří. *Auto.cz* [online]. 16.1. 2012 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/skoda-octavia-green-e-line-test-64317>
- [10]: *NASA.org* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <http://www.nasa.gov/offices/oce/lis/0893.html>
- [11]: Trakční motor TE 22. [online]. s. 1 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://k5.sh.cvut.cz/~oskar/T3SU/T3SU-04-Trakcni.motor.TE.022.pdf>
- [12]: SportStar EPOS - an Electric Airplane Concept. *Rotex Electric* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.rotexelectric.eu/rotexen/index.php/projects/airplane-projects/epos>
- [13]: FlightPower Lithium Polymer Ltd © 2013: Home. [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://w.flightpower.co.uk/>
- [14]: Superior Lithium Polymer Battery. *Kokam* [online]. [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://www.kokam.com/new/kokam_en/sub01/sub01_01.html
- [15]: Lithium polymer battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 15.4.2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery

- [16]: ZIMMERMAN, Albert H. a Michael V. QUINZIO. Lithium Plating in Lithium-Ion Cells. [online]. 18.12.2010 [cit. 2015-04-19]. Dostupné z: https://batteryworkshop.msfc.nasa.gov/presentations/1-Lithium_Plating_AZimmerman.pdf
- [17]: Toyota Prius: hybrid s nízkou spotřebou (velký test). BROŽA, Pert. *AutoRevue.cz* [online]. 24.6.2005 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: http://www.autorevue.cz/toyota-prius-hybrid-s-nizkou-spotrebou-velky-test_3
- [18]: SPORTOVNĚ POD PROUDEM: Pohon BMW i8. [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.bmw.cz/cz/cs/newvehicles/i/i8/2014/showroom/drive.html>
- [19]: BMW i8: Technická data. *BMW* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: http://www.bmw.cz/cz/cs/newvehicles/i/i8/2014/showroom/technical_data.html
- [20]: Porsche Press Rekease: Prof. Ferdinand Porsche Created the First Functional Hybrid Car. *Porsche* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://press.porsche.com/news/release.php?id=642>
- [21]: Fisker Karma. *Wikipedia* [online]. 19.4.2015 [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Fisker_Karma
- [22]: Supercharger. *Supercharger.info* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://supercharge.info/>
- [23]: Top electric cars in 17 European countries. *ABB* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.abb-conversations.com/2014/02/top-electric-cars-in-17-european-countries-charts/>
- [24]: Mapa dobíjecích stanic. *E MOBILITA: SKUPINA ČEZ* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/cs/mapa-dobijecich-stanic.html>
- [25]: Tesla Model S Signature Performance: Model S zkušenosti ... část druhá. *Roznovan.cz/~kubis* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.roznovan.cz/~kubis/models.php>
- [26]: ČEZ OTEVŘEL PRVNÍ ULTRARYCHLOU DOBÍJECÍ STANICI V ČESKU. *ČEZ.cz* [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/3952.html>
- [27]: World All Time Top 10. *EV Sales* [online]. Saturday, April 25, 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.ev-sales.blogspot.ch/2015/04/world-all-time-top-10-updated-to-25th.html>
- [28]: Elektromobil Renault Zoe od března 2015 s delším dojezdem. SLEEPER, Aleš. *Auto.cz: Nejlepší jízda na webu* [online]. 15.12.2014 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/renault-zoe-brezna-2015-delsim-dojezdem-84638>
- [29]: Ceník BMW i3, stav Březen 2015, [online]. [cit. 2015-04-25]. Dostupné z: <http://www.bmw.cz/cz/cs/newvehicles/i/i3/2013/showroom/index.html>
- [30]: Model S EU models. *Tesla Motors* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://my.teslamotors.com/en_EU/models/design

- [31]: E-Golf. VW - *Das Auto* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://www.volkswagen.cz/modely/e-golf/ceniky_a_data/technicka_data
- [32]: Ew Specs For 2015 e-Golf Released By VW, Launches Later This Year. COLE, Jay. *Inside EVs* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://insideevs.com/volkswagen-releases-details-2015-e-golf/>
- [33]: Peugeot iOn review. ENGLISH, Andrew. *The Telegraph* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.telegraph.co.uk/motoring/car-manufacturers/peugeot/8028114/Peugeot-iOn-review.html>
- [34]: Lithium-polymerový akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 10. 2. 2015 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-polymerov%C3%BD_akumul%C3%A1tor
- [35]: Nová baterie pro Nissan Leaf stojí 130 000 Kč. In: HORČÍK, Jan. *Hybrid.cz* [online]. 30.6.2014 [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nova-baterie-pro-nissan-leaf-stoji-130-000-kc>
- [36]: Katalog - iOn. *Peugeot: Peugeot iOn katalog* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://peugeot.ecpaper.cz/osobni/i0n/i0n/Peugeot-i0n-katalog/#page=18-19>
- [37]: Dobíjení Nissanu Leaf. *Nissan: Nový Nissan Leaf* [online]. [cit. 2015-04-28]. Dostupné z: <http://www.nissan.cz/CZ/cs/vehicle/electric-vehicles/leaf/charging-and-battery/charging-nissan-leaf-and-battery.html>
- [38]: Octavia Green E Line. *Škoda Auto* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://cs.skoda-auto.com/experience/concepts/octavia-green-e-line>
- [39]: Nissan Leaf. *Roznovan.cz/~kubis* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.roznovan.cz/~kubis/leaf.php>
- [40]: BMW ActiveE. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/BMW_ActiveE
- [41]: Technické parametry pro Golf a e-Golf. *Volkswagen* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.volkswagen.cz/modely/e-golf/> a <http://www.volkswagen.cz/modely/golf/>
- [42]: Internal combustion engine: Energy efficiency. 2001-. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_combustion_engine#Energy_efficiency
- [43]: Dodávka elektrické energie - porovnání nabídek. *Kalkulátor cen energií* [online]. [cit. 2015-05-12]. Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/dodavka-elektricke-energie-porovnani-nabidek>
- [44]: Změny v platbě za elektřinu. Větší roli začne hrát jistič. *Aktuálně.cz* [online]. [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://zpravy.aktualne.cz/finance/zmeny-v-platbe-za-elektrinu-vetsi-rolizacne-hrat-jistic/r~27f67a26e5d411e49e4e002590604f2e/>

[45]: Elektrický srovnávací test: BMW i3 vs. VW e-Golf vs. Nissan Leaf Více na:
http://www.autorevue.cz/elektricky-srovnavaci-test-bmw-i3-vs-vw-e-golf-vs-nissan-leaf/ch-53437#utm_medium=selfpromo&utm_source=autorevue&utm_campaign=copylink. In: DITTRICH, Lukáš. *Autorevue.cz* [online]. Dostupné také z:
<http://www.autorevue.cz/elektricky-srovnavaci-test-bmw-i3-vs-vw-e-golf-vs-nissan-leaf/ch-53437>

[46]: Škoda Octavia. In: *Vyberiauto.cz* [online]. [cit. 2015-05-18]. Dostupné z:
<http://www.vybermiauto.cz/autodata/skoda/octavia/technicka-data#technicka-data>

Seznam příloh:

Seznam obrázků:

Obrázek 1: *C. Jenatzy v roce 1899 vytvořil v elektromobilu rychlostí rekord 105,3km/h*
http://cs.wikipedia.org/wiki/Camille_Jenatzy

Obrázek 2: *Řez asynchronním motorem* Dostupné z:
<http://www.alumnos.unican.es/imb76/AC%20motor%20overview.html>

Obrázek 3: *Evektor u svého letounu EPOS udává zhruba čtvrtinové náklady na „palivo“ oproti benzínové variantě s motorem Rotax* Dostupné z:
<http://www.roteselectric.eu/rotexen/index.php/projects/airplane-projects/epos>

Obrázek 4: *Elektrická „stíhačka“ E Fan společnosti Airbus slouží jako demonstrátor využití elektrických turbín v letecké dopravě* Dostupné z: <http://www.cnet.com/news/airbus-shows-e-fan-its-electric-plane-due-in-2017/>

Obrázek 5: *Firma Maxon vyrábí BLDC elektromotory o průměrech od 6 do 90mm, které pohánějí chirurgické nástroje i sondu Opportunity na planetě Mars* Dostupné z:
http://www.maxonmotor.com.au/medias/sys_master/root/8806688358430/RIP-SPREAD-BILD2-GALLERY.jpg

Obrázek 6: *Lithiová baterie v otevřeném ochranném krytu je určena pro nejprodávanější elektromobil roku 2013 Nissan Leaf* Dostupné z:
http://www.greencarreports.com/news/1092983_nissan-leaf-battery-cost-5500-for-replacement-with-heat-resistant-chemistry

Obrázek 7: *Modře je vyobrazena spotřeba energie v domácnostech, žlutě denní výkon dodávaný solárními elektrárnami* Dostupné z: <http://www.teslamotors.com/powerwall> [2015-05-07]

Obrázek 8: *Symbolické schéma uspořádání paralelního (v levo) a sériového (v pravo) hybridního pohonu*, kresba Jan Špatný

Obrázek 9: *Mapa dobíjecích stanic v České republice* [2015-04-28] Dostupné z: http://www.elektromobily.org/wiki/Mapy_nabijecich_stanic

Obrázek 10: *Jednoduché blokové schéma spínaného usměrňovače*, Předmět VVZ na FEL ČVUT, přednáška 12 Měniče, autor: Ing. Jiří Hájek, Ph.D.

Obrázek 11: *Mapa evropské sítě nabíjecích stanic SuperCharger ve stavu plánovaném na konec zimy 2014-2015*, Screen ze stránky <http://www.teslamotors.com/supercharger> [2015-04-17]

Obrázek 12: *5 kolíková 16A zásuvka*, foto: Teslaclub.sk [2015-04-17]

Obrázek 13: *Grafické srovnání dojezdu některých elektromobilů*

Obrázek 14: *BMW Concept ActiveE*, Dostupné z: <http://www.avem.fr/actualite-voiture-electrique-la-bmw-activee-en-premiere-mondiale-a-detroit-1178.html> [2015-04-17]

Obrázek 15: *Vývoj ceny nafty v okrese České Budějovice*, screen stránky <http://www.ccs.cz/pages/phm2.php>

Obrázek 16: *Vývoj ceny benzínu v okrese České Budějovice*, screen stránky <http://www.ccs.cz/pages/phm2.php>

Obrázek 17: *DCFt ($r=1,5\%$) pro Škodu Octavii a Nissan Leaf při ročním nájezdu 22 000km*

Obrázek 18: *Kumulované DCFt ($r=1,5\%$) pro Leaf a Octavii III při různém ročním nájezdu km*

Obrázek 19: *Kumulované DCFt ($r=1,5\%$) pro Model S a A8 při různém ročním nájezdu km*

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Porovnání hustoty energie a hmotností paliv a akumulátorů.

Tabulka 2: Hustota uložené energie na litr objemu [7], [15]. Ve třetím sloupci jsem pře počítal objem jednotlivých akumulátorů a paliv na uloženou energii ekvivalentní 55l benzínu.

Tabulka 3: Výpočet baterie ekvivalentní 55l benzínu při zohlednění účinnosti motorů.

Tabulka 4: Hmotnost a objem baterie ekvivalentní 55l benzínu při zohlednění účinnosti motorů.

Tabulka 5: Nejprodávanější elektromobily podle EV Sales [27]

Tabulka 6: Základní parametry některých elektromobilů

Tabulka 7: Srovnání spotřeby některých elektromobilů

Tabulka 8: Srovnání vozidel e-Golf a Golf 1,4 TDI 1.4 81kW 4M [41]

Tabulka 9: Vliv ceny nafty na NPV (4.5)

Tabulka 10: Rozdíl v cenách elektřiny se současným tarifem D56d a tarifem D27d Elektromobil [43]

Tabulka 11: Náklady na dobíjení elektromobilu při nabíjení 60% na ČEZ stanicích a 40% z domácí přípojky. *) Roční spotřeba při výrobcem udávané spotřebě a ročním nájzdu 22 000km.

Tabulka 12: NPV pro Škodu Octavii a Nissan Leaf

Tabulka 13: Výpočty CF a NPV pro Leaf a Octavii ($r=1,5\%$, nájezd 22 000km ročně)

Tabulka 14: NPV pro Audi A8 a Teslu Model S