

**Mendelova univerzita v Brně
Institut celoživotního vzdělávání
Oddělení expertního inženýrství**

Elektromobilita ve vztahu k životnímu prostředí

Bakalářská práce

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

**Vypracovala:
Kateřina Opletalová**

Brno 2016

Zadání bakalářské práce.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci: **Elektromobilita ve vztahu k životnímu prostředí** vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

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

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

V Brně dne 22. 5. 2016

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu prof. Ing. Františku Bauerovi, CSc., vedoucímu práce za odborné konzultace, cenné rady, připomínky týkající se obsahové a formální úpravy práce, dále za ochotu a čas, který mi věnoval v průběhu zpracování této práce. Ještě chci poděkovat příteli, za podporu při studiu a vytvoření výborných studijních podmínek.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá elektromobilitou. Nejprve se práce zabývá vztahem elektromobilů k životnímu prostředí, historií, dále koncepcí elektromobilu a následuje praktická část, kde byly porovnány jednotlivé automobily s plně elektrickým pohonem, které se prodávají na trhu v České republice. Byly sepsány jednotlivé vybrané technické parametry, které byly následně porovnány metodou vícekriteriálního rozhodování, a dále byla vyjádřena závislost vybraných parametrů.

Klíčová slova

Elektromobilita, životní prostředí, dobíjecí stanice, technické parametry, vícekriteriální rozhodování, závislost.

Abstract

Bachelor thesis engages in electromobility. It starts with a relationship of electric cars and environment, continues with history, conception of electric cars, and a practical part, where concrete car models that are sold in the Czech republic, are evaluated. It includes technical parameters, and also features multi-criterion evaluation regarding electric car models. Thesis also presents common dependency of single parameters.

Keywords

Electromobility, environment, charging station, technical parameters, multi-criterion evaluation, dependency.

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíl bakalářské práce	11
3	Historie elektromobility	12
4	Elektromobilita a životní prostředí	15
4.1	Výroba elektřiny v České republice	15
4.2	Regulace emisí.....	17
4.2.1	Přepočet CO ₂ na kWh.....	17
4.2.2	Vyčíslení nákladů na elektřinu.....	18
5	Koncepce elektromobilu	19
6	Elektromotor	20
6.1	Asynchronní motor.....	20
6.2	Synchronní motor	21
7	Zdroje energie	22
7.1	Důležité parametry.....	22
7.2	Druhy akumulátorů.....	23
7.3	Porovnání akumulátorů.....	23
8	Dobíjení elektromobilu	24
8.1	ČEZ	25
8.2	E.ON	26
8.3	RWE	26
8.4	Pražská energetika	27
8.5	Dobíjení výměnou akumulátoru.....	28
9	Materiál a metodika zpracování	29
9.1	Metoda vícekriteriálního rozhodování	29
9.2	Určení závislosti technických parametrů	30

10	Technické parametry vybraných vozidel	31
10.1	Peugeot iOn.....	32
10.2	Citroën C-Zero	33
10.3	Volkswagen e-up!.....	34
10.4	Nissan Leaf.....	35
10.5	Kia Soul.....	36
10.6	Volkswagen e-Golf.....	37
10.7	BMW i3	38
11	Analýza získaných technických parametrů	39
11.1	Vícekritériální rozhodování - metoda váženého součtu	39
11.2	Vlastní analýza technických parametrů	41
11.2.1	Závislost dojezdu na poměru kapacity baterií a hmotnosti.....	41
11.2.2	Závislost zrychlení na poměru maximálního výkonu a hmotnosti.....	42
11.2.3	Závislost ceny na maximálním dojezdu.....	43
11.2.4	Závislost doby dobíjení na kapacitě baterií	44
12	Závěr	45
	Seznam použité literatury	46
	Knižní zdroje	46
	Internetové zdroje.....	47
	Seznam obrázků	50
	Seznam tabulek	51

1 Úvod

Doprava hraje v 21. století velmi důležitou roli. Současný svět je svět komunikací. Komunikace, jako transport, vyžaduje využití velkého množství energie, které by mělo být efektivní. Transportují se nejen lidé, ale i jejich produkty činnosti. V minulosti byl automobil spíše kuriozitou. Nyní si život bez dopravních prostředků nedokážeme představit. Bohužel s rostoucí dopravou souvisí i vznik škodlivých látek – emisí. Vzhledem k rozrůstajícímu se počtu motorových vozidel jsou přijímána přísnější zákonná opatření, která mají za úkol eliminovat tyto škodlivé emise, zejména oxid uhličitý CO_2 , oxid uhelnatý CO , oxidy dusíku NO_x , aj.

Naprostá většina automobilů v současné době používá fosilní paliva. Budoucnost fosilních paliv, ropy a zemního plynu, je dána zejména svojí vyčerpatelností zásob a její neobnovitelností. Nejkratší budoucnost má dle současných prognóz ropa (Kameš, 2002). Již v roce 2007 totiž nastal tzv. ropný vrchol, tedy okamžik, od kterého těžba ropy klesá a směřuje tak k celkovému vyčerpání zásob. Předpokládá se, že k jejímu vyčerpání dojde v horizontu 50 let. Těžba zemního plynu by po vyčerpání ložisek ropy mohla pokračovat ještě dalších 100 let (Nazeleno, © 2015).

Následující generace nejen že nebudou moci využívat tyto zdroje, ale budou muset řešit problémy, které s sebou dnešní spalování fosilních paliv přináší. Jedním z mnoha ekologických problémů jsou zejména globální klimatické změny. Tyto problémy jsou tím závažnější, čím více motorových vozidel se objevuje na cestách. Je těžké mluvit o ekonomickém růstu, když jsme plně závislí na neobnovitelných zdrojích pro výrobu elektřiny a současně jsme vystaveni riziku ekologických katastrof.

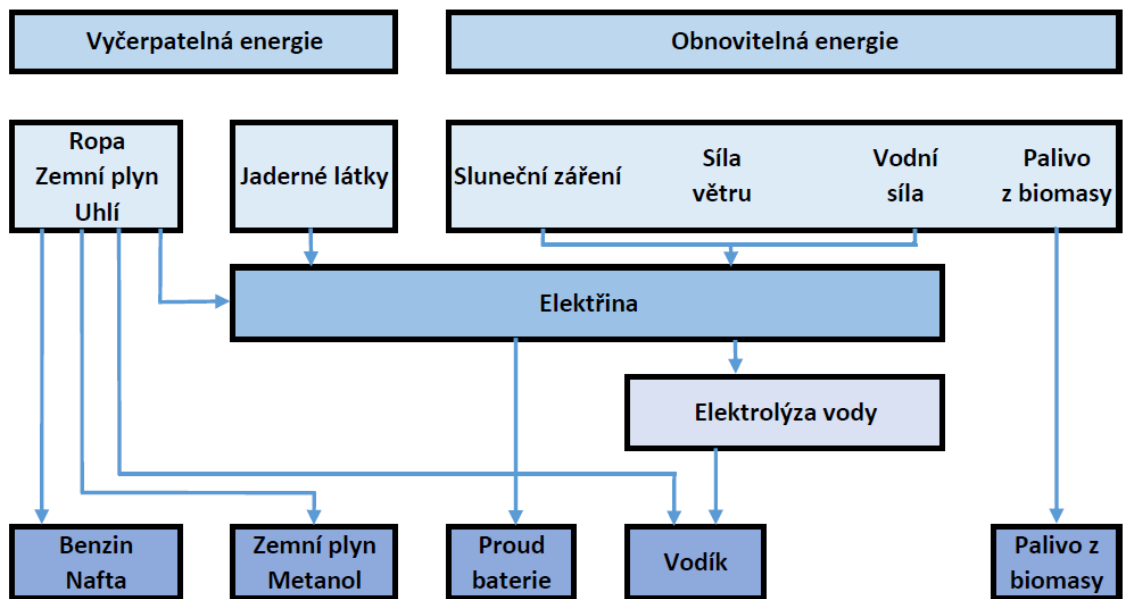
V současné době je v dopravě trend nahrazování neobnovitelných zdrojů energie zdroji obnovitelnými tzv. alternativními palivy v pohonných jednotkách automobilů. Důvod je jednoduchý, velký důraz je v nyní kladen na životní prostředí. Jedná se však a velmi náročný a zdlouhavý proces.

Automobilový průmysl využívá několik druhů alternativních pohonů, mezi nejdůležitější patří plynové, elektrické, hybridní a vodíkové. Za alternativní paliva považujeme:

- Stlačený zemní plyn (CNG),
- Zkapalněné ropné rafinerské plyny (LPG),
- Bioplyn,
- Bionafta a paliva na základě metylesteru řepkového oleje,
- Paliva s využitím alkoholů (etanol a metanol),
- Vodík,
- Elektrický proud.

Právě pohony využívající elektrickou energii se zabývá tato bakalářská práce.

Obr. 1 zobrazuje přehled energií použitelných pro pohon automobilů.

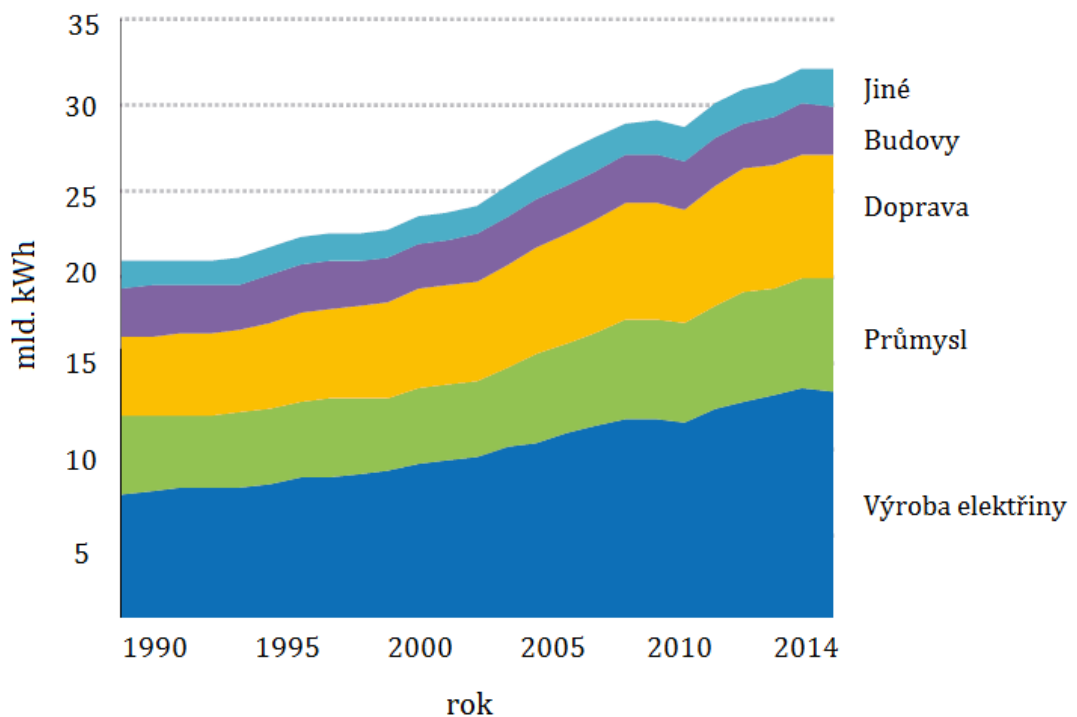


Obr. 1: Přehled energií použitelných pro výrobu elektřiny (Frybert, 2015)

Na slunce, jako jediný základ obnovitelných zdrojů energie, se můžeme plně spolehnout. Z této energie lze prakticky věčně produkovat ekologicky čistá paliva. Ochrana životního prostředí se stala jednou z hlavních priorit vyspělých států. Na zavádění elektromobilů měl velký vliv program Zero Emission Vehicle – ZEV,

který vznikl v roce 1990 v Kalifornii. Program si kladl za cíl, aby do roku 2003 byl každý desátý prodaný automobil elektromobil.

V současnosti je kladen velký důraz na eliminaci emisí ze spalovacích motorů vozidel, zavádění vyšších poplatků a daní, a také podpora veřejných dopravních prostředků. Podíl jednotlivých odvětví na tvorbě CO₂ zobrazuje obr. 2. Výroba elektrické energie se podílela na celkových emisích oxidu uhličitého ze zhruba 40 %. Téměř 35 % pocházelo z uhlí. Sektor dopravy byl identifikován jako jeden z hlavních zdrojů poškozování lidského zdraví. Se zvyšujícím se počtem automobilů má podíl emisí CO₂ z dopravy tendenci růstu, i přes snižování emisí ze spalování a zavádění přísných emisních opatření (Frič, 2010).



Obr. 2: Podíl jednotlivých odvětví na tvorbě CO₂

Zdroj: Webové stránky O energetice (2015)

2 Cíl bakalářské práce

Cílem bakalářské práce je vypracovat přehled současného stavu problematiky týkající se silničních osobních motorových vozidel využívajících plně elektrického pohonu a provést analýzu technických parametrů elektromobilů dostupných na českém trhu. Dále popsat základní principy fungování elektromobilů, seznámit se se současnými parametry automobilů, infrastrukturou dobíjecích stanic v České republice a zhodnotit současný stav.

Praktická část práce si klade za cíl porovnat vybrané parametry u sedmi vybraných osobních elektromobilů nabízených v České republice a vybrat pomocí vícekritériálního rozhodování automobil s nejlepšími parametry jako je maximální výkon, dojezd, točivý moment, cena, doba dobíjení a spotřeba. Dále vyjádřit pomocí statistických funkcí závislost vybraných technických parametrů a určit tak míru vzájemné závislosti.

3 Historie elektromobility

Již roku 1800 byl objeven první použitelný zdroj stálého elektrického proudu, Voltův článek. V první polovině 19. století byly prozkoumány zákonitosti mezi elektřinou a magnetismem, čímž vznikla řada zákonů platících v elektrických obvodech.

Elektromobily rozhodně nepatří mezi novinku v automobilovém průmyslu. Jsou dokonce starší, než vozidla poháněná spalovacím motorem, konkrétně na benzín. V roce 1835 se v Holandsku a Itálii objevila první vozidla, která si vezla svůj zdroj energie s sebou. Holandský profesor Sibrandus Strating navrhl elektromobil, který postavil jeho asistent Christopher Becker.

První akumulátory použité v těchto vozidlech byly bohužel velmi drahé a těžké. Hmotnost akumulátoru výrazně převyšovala hmotnost vozu. Jednalo se o olověné akumulátory. Maximální dojezd, který byl dán kapacitou akumulátoru, činil 70 km. Elektromobil se stal prvním vozidlem na světě, který překonal rychlostní hranici 100 kilometrů za hodinu (Inuru, © 2012).

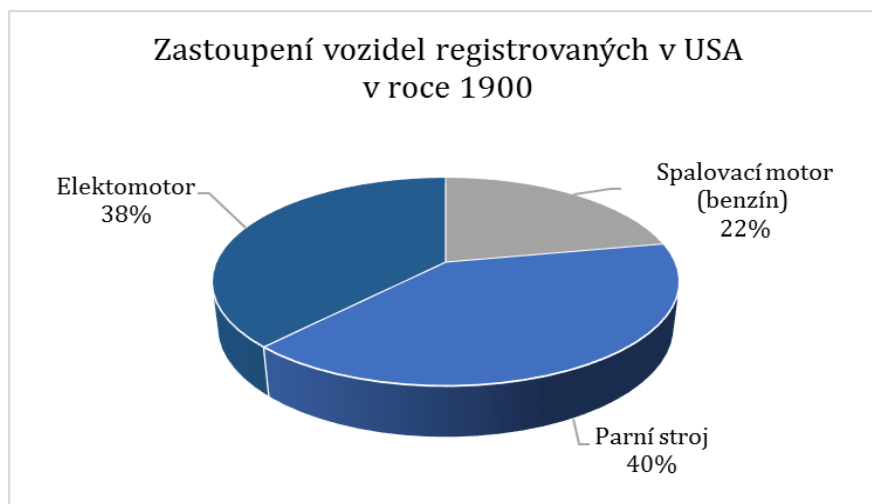


Obr. 3 První elektromobil, který překonal hranici 100 km za hodinu

Zdroj: Webové stránky Elektromobil v seznamu (2015)

V roce 1873 bylo sestrojeno elektrické vozidlo Angličanem Robertem Davidsonem. První motorové vozidlo se spalovacím motorem se objevilo až o 12 let později. Čtrnáct let na to se po ulicích Londýna prohánělo téměř 100 elektrických taxíků. Pro elektromobily byl tak přelom 19. a 20. století velmi významným. Počet vozidel s elektrickým pohonem převyšoval počet vozidel s konvenčním, spalovacím motorem. Auta na benzin byla velmi drahá a vzhledem k tomu, že neměla elektrické zapalování, často u nich docházelo k problémům se startováním. Auta se startovala roztáčením kliky, při jízdě byla hlučná a produkovala dým, což mohlo být pro řadu řidičů a posádku velmi nekomfortní.

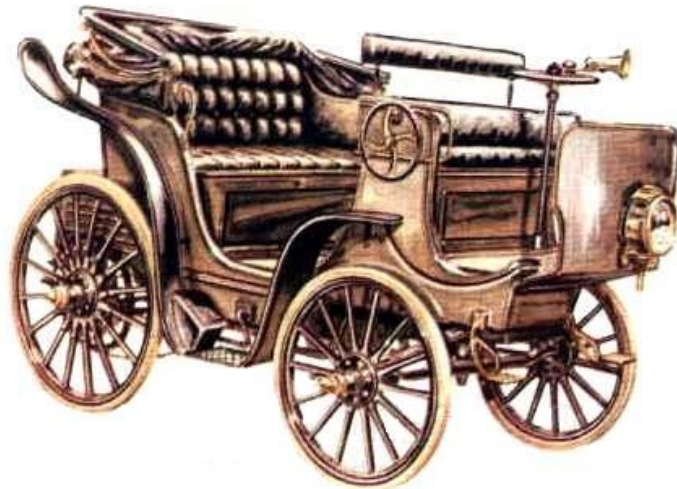
Elektromobily získaly svoji popularitu zejména pro svoje snadné spouštění, jednoduchou konstrukci a tichý chod. Další výhodou byl i fakt, že si lidé uvědomovali, že téměř neznečišťují životní prostředí. Znečištěné ovzduší však ve své době nehrálo prim. Například v roce 1900 ve Spojených státech amerických bylo registrováno okolo 4000 vozidel, zastoupení jednotlivých pohonů zobrazuje obr. 4. V době své největší obliby jezdilo v USA až 50 000 elektromobilů (Badida, 2007).



Obr. 4 Zastoupení vozidel registrovaných v USA v roce 1900 (Badida, 2007)

Slavný český elektrotechnik a vynálezce František Křižík v roce 1895 sestavil první elektromobil na našem území a stal se tak jedním z prvních konstruktérů

elektromobilů. Jednalo se spíše o vozík, později elektricky poháněný kočár. Vůz se směrově ovládal ruční pákou, později volantem. Akcelerovalo se i brzdilo pedálem. Vozidlo bylo poháněno elektromotorem o výkonu 3,7 kW, později poháněly Křižíkovi elektromobily elektromotory dva, každý o výkonu 2,2 kW.



Obr. 5: Křižíkův elektromobil

Zdroj: Webové stránky Eurooldtimers (2015)

Spalovací motory však později pro svůj rychlejší technologický pokrok posunuly elektromobily do pozadí. V roce 1912 Charles Ketting vynalezl elektrický startér a tím se odstranila nutnost náročného startování klikou. Dalším důvodem proč elektromobily prakticky vymizely, může být i fakt, že se objevila nová ložiska ropy a rapidně se tak snížila cena benzínu. Naftařská lobby postupně prosadila řadu důležitých zákonů a za nemalé peníze investované do reklam přesvědčila veřejnost ke koupi automobilu se spalovacím motorem (Inuru, © 2012).

Ropná krize a nepříznivý vývoj životního prostředí v 70. letech přinesla větší zájem o elektromobily. Vývojem se zabýval Výzkumný ústav elektrických strojů v Brně spolu s Vysokým učením technickým. Byly vytvořeny dva prototypy EMA 1 a EMA 2 (Vlk, 2000). Lobby hraje i v dnešní době svoji velkou roli, ale zákony podporují ochranu životního prostředí snižováním emisí, a tak elektromobily nabírají opět na významu. Jejich prodej v posledních letech výrazně roste, i když počet automobilů poháněných spalovacím motorem je prozatím výrazně vyšší.

4 Elektromobilita a životní prostředí

K 1. 1. 2016 bylo v České republice registrováno 850 elektrických aut a meziroční nárůst počtu elektromobilů v ČR za rok 2015 činí 74 % (Ekoauta, © 2016). Elektromobily budí jako alternativní pohon řadu otázek týkajících se zejména emisí a životního prostředí. Vysoká účinnost, nulové emise při jízdě a též relativně krátký dojezd na jedno nabití je vhodný spíše pro dopravu po městech.

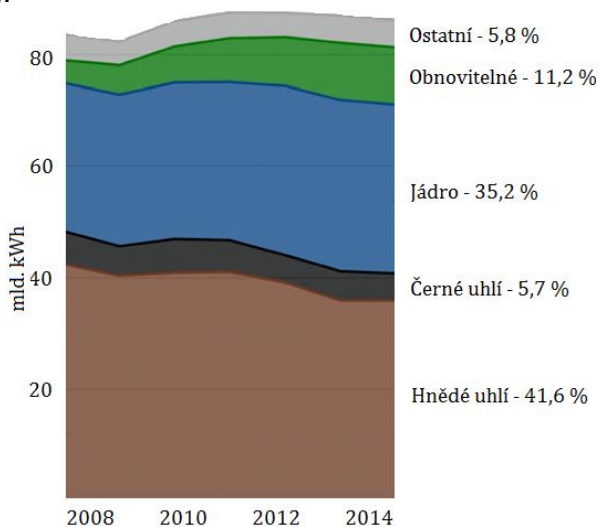
Často se zmiňuje fakt, že se emise, které vznikají při výrobě elektřiny, jen přesouvají na jiné místo, do elektráren. Proto je velmi důležité, jakým způsobem se elektrická energie vyrábí. Nelze tedy vždy hovořit o nulových emisích elektromobilů. V případě, že by se prodej elektromobilů v budoucnu rapidně rozšířil, došlo by i k výraznému nárůstu spotřeby elektrické energie. Dokud však státy nepřestanou vyrábět elektřinu z neobnovitelných zdrojů, nebudou elektromobily ekologičtější (Badida, 2007).

4.1 Výroba elektřiny v České republice

Z dat Energetického regulačního úřadu vyplývá, že se v roce 2014 v České republice vyrobilo 86 miliard kWh elektřiny. Z toho 69,7 miliard kWh bylo spotřebováno a 16,3 miliard kWh bylo exportováno. Exportováno bylo více elektřiny, než vyprodukovaly obě jaderné elektrárny České republiky Dukovany a Temelín. Asi z 10 % byla elektrická energie vyráběna z obnovitelných zdrojů. Mezi tyto zdroje patří například voda, biomasa, vítr, sluneční energie a bioplyn.

Dle obr. 6 se nejvíce elektřiny v roce 2014 získalo z uhelných elektráren, a to 47,3 %. Takto získaná elektřina je však v současné době na ústupu, zejména kvůli neekologickému provozu, vzniku spalin a trvale mírně klesá. Ještě v roce 2002 pocházely více jak dvě třetiny elektřiny z těchto elektráren. Od roku 2008 klesla výroba o 15%. I přes tento vývoj si stále drží své prvenství v těsném závěsu za elektřinou získanou z jaderných elektráren.

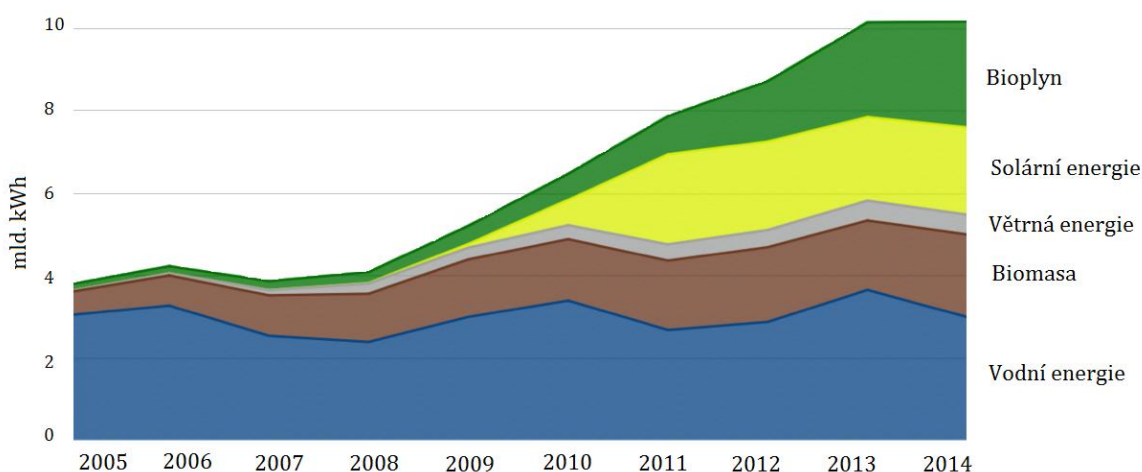
Výroba elektřiny z jádra díky zvyšování výkonu jaderných elektráren vzrostla o 14% (ERÚ, © 2014).



Obr. 6: Výroba elektřiny podle paliva

Zdroj: Webové stránky Energetického regulačního úřadu (2015)

Na obr. 7 je zobrazeno, v jaké míře byly využívány obnovitelné zdroje k výrobě elektřiny v letech 2005 – 2014. Největší podíl má v roce 2015 vodní energie, a to z 29 %. Čím dál více roste podíl větrných elektráren. Výroba elektrické energie z bioplynu má tak téměř čtvrtinové zastoupení a skoro jedna pětina elektřiny pochází z biomasy. V roce 2011 se téměř ztrojnásobil počet fotovoltaických elektráren, která zažily jistý boom, zejména kvůli masivním dotacím.



Obr. 7: Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů

Zdroj: Webové stránky Energetického regulačního úřadu (2015)

Z pohledu nulových emisí elektromobilů je nutné vzít v potaz, jaké množství emisí vzniká při samotné výrobě elektřiny nutné k dobití baterií. Netto, neboli čistá výroba elektřiny je dána rozdílem množství vyrobené elektřiny v dané elektrárně a vlastní spotřebou na samotnou výrobu. Například biomasa a hnědé uhlí potřebují na svoji výrobu stejný podíl energie. Na rozdíl fotovoltaické, větrné nebo vodní elektrárny spotřebují necelé jedno procento elektřiny, kterou vyprodukovaly. (ERÚ, © 2015).

4.2 Regulace emisí

Elektromobilita je v současné době na vzestupu. Jednou z klíčových priorit Evropské unie je předcházení důsledkům změn klimatu, například podporou získávání energie z obnovitelných zdrojů tedy větrné, solární a vodní energie nebo energie získávané z biomasy. Snaží se o výrazné snížení emisí skleníkových plynů. Evropská unie výrazně podporuje využívání alternativních paliv v automobilech.

Cílem Evropské unie je do roku 2020 nahradit až 20 % konvenčního paliva palivy alternativními (ec.europa, © 2016). Předpokládá se, že do roku 2020 budou 4 % prodeje vozidel tvořit elektromobily, v roce 2060 se očekává nárůst prodeje vozů na 35 % (TOP AZ, © 2015).

Potenciál úspor je obrovský. V případě, že by se na cestách pohybovalo jen 1 % elektromobilů, tak při 10 tisících naježděných kilometrech na jedno vozidlo, by celková úspora představovala až 1,5 miliardy litrů benzínu. V případě že uvažujeme, že na 1 litr benzínu jsou potřeba asi 2 litry ropy, úspora by byla až dvojnásobná (Badida, 2007).

4.2.1 Přepočet CO₂ na kWh

Nepřímé emise CO₂, tedy oxidu uhličitého, mohou mít však elektromobily mnohem vyšší než je průměr osobních automobilů se spalovacím motorem. Nejčastěji se setkáváme s 80 g CO₂ na kilometr, zdroj však neuvádí, o jaký automobil se jedná, neznáme technické parametry vozu. Podle údajů Ministerstva průmyslu a obchodu

se v České republice při výrobě 1 kWh elektrické energie vypustí 1170 g oxidu uhličitého. Elektromobil by tak musel mít spotřebu do 6,8 kWh/100 km jízdy. Pro porovnání spotřeba nejprodávánějšího elektromobilu v České republice za rok 2015, BMW model i3 je 12,9 kWh/100 km. Spotřeba je tak téměř dvojnásobná (Autorevue, © 2015).

4.2.2 Vyčíslení nákladů na elektřinu

Jedním z velkých lákadel pro potenciální kupce elektromobilu jsou oproti vysoké pořizovací ceně náklady na provoz a údržbu. Cena elektrické energie dle E.ON, tarif D25d, pro rok 2015, při vysokém tarifu 4,55 Kč/kWh, při nízkém tarifu 1,83 Kč/kWh. Spotřeba elektrické energie BMW i3 je 12,9 kWh/100 km. Jelikož je účinnost dobití baterie 85%, pro jedno nabití potřebujeme 14,8 kWh elektrické energie.

$$\text{Cena 100 km (vysoký tarif)} = 14,8 \cdot 4,55 = 67,3 \text{ Kč/100km}$$

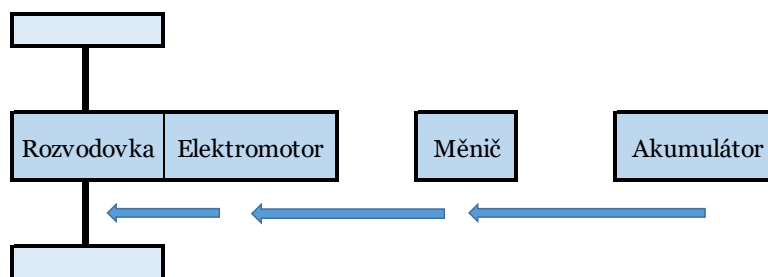
$$\text{Cena 100 km (nízký tarif)} = 14,8 \cdot 1,83 = 27,1 \text{ Kč/100km}$$

Náklady za elektřinu na ujetí 100 kilometrové vzdálenosti jsou tedy 67,3 Kč ve vysokém tarifu a 27,1 Kč v nízkém tarifu. Tyto náklady by při vyšší účinnosti akumulátoru a při volbě vhodného dodavatele a tarifu elektřiny ještě klesly (Peníze, © 2015).

Je nutné zmínit, že na některých veřejných dobíjecích stanicích v České republice, je možné dobíjení elektromobilu zcela zdarma. Příkladem může být dobíjecí stanice v Brně v Galerii Vaňkovka. Spotřebovanou energii hradí Galerie Vaňkovka. Náklady na dobíjení jsou tak často oproti vozidlům se spalovacím motorem několikanásobně levnější. Za dobu životnosti elektromobil obvykle ušetří svému majiteli jeden milión korun (Ekoauta, © 2016).

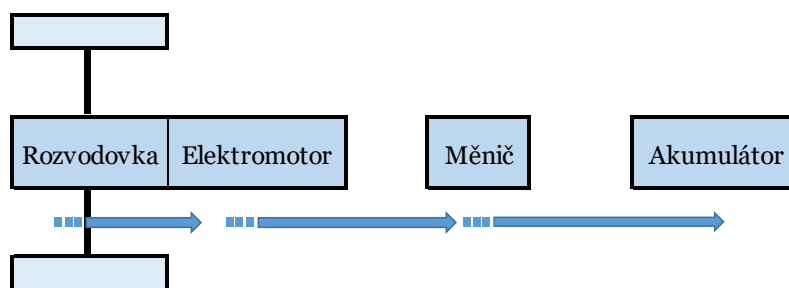
5 Koncepce elektromobilu

Elektromobily jsou vozidla poháněná elektromotory a napájena akumulátorem. Nejčastěji se skládají z těchto součástí: baterie, měnič, elektromotor a rozvodovka. Tyto prvky mají svoji účinnost a jsou zapojeny do série. Výsledná účinnost je dána součinem jednotlivých účinností. Obr. 8 zobrazuje schéma pro pohon předních kol. Z akumulátoru teče proud do měniče, kde dochází ke změně stejnosměrného napětí na střídavé. Ve statoru elektromotoru střídavý proud z měniče vytváří magnetické pole a na výstupní hřídel je generován točivý moment. V rozvodovce je pak točivý moment přenášen na kola.



Obr. 8: Blokové schéma pro pohon předních kol (Frybert 2015)

K rekuperaci energie dochází například jízdou z kopce, při brzdění nebo v městském provozu, kdy je zpětně akumulátor dobíjen. Rekuperaci zobrazuje obr. 9. Točivý moment je přenášen na rotor, který generuje střídavé napětí (proud). V měniči dojde k přeměně střídavého napětí na stejnosměrné napětí a baterie je tak dobíjena ze svorek měniče (Frybert, 2015).



Obr. 9: Blokové schéma rekuperace (Frybert, 2015)

6 Elektromotor

Pro pohon elektromobilů se využívají tradiční principy používané pro trakční pohony. Důležitý je obecně točivý moment, který je požadován co nejvyšší v širokém rozsahu otáček.

„Elektromotory můžeme dělit na komutátorové a bezkomutátorové. Komutátorové motory se k pohonu elektromobilů většinou nepoužívají, hlavní nevýhodou je samotný komutátor. Tento mechanický přepínač, který spíná velké proudy, je zdrojem poruch. Komutátor je mechanicky značně namáhán a zařízení vyžaduje pravidelnou údržbu v podobě výměny některých součástí“ (Frybert, 2015).

Střídavé motory vytlačují stále více stejnosměrné motory. Stejnosměrný proud z akumulátoru je nutné přeměnit na střídavý proud. Nejčastěji používané jsou tak bezkomutátorové elektromotory, které pracují na principu točivého magnetického pole, které vzniká ve statoru, který je tvořen cívkami. Tyto motory se dále dělí na synchronní a asynchronní, které se od sebe liší konstrukcí rotoru (Frybert, 2015), (Kameš, 2004).

6.1 Asynchronní motor

Asynchronní neboli také indukční motor se vyznačuje jednoduchou konstrukcí a tím i spolehlivostí. Tok energie mezi rotorem a statorem pobíhá pouze pomocí elektromagnetické indukce. Statorové vinutí se skládá z minimálně tří svazků, posunutých o 120° a je napájeno třífázovým střídavým proudem.

Vlivem magnetického pole se v rotoru indukuje napětí; proud, který vznikne v rotoru, vyvolá magnetický tok, který je spřažen se statorem, a tím způsobí otáčení rotoru. Oproti stejnosměrnému motoru je asynchronní motor při stejném výkonu výrazně lehčí a menší.

6.2 Synchronní motor

Synchronní motory, někdy označované jako PMSM, se začaly používat po aplikaci permanentních magnetů. Výhodou je menší objem a hmotnost. Pro synchronní motor je typická vyšší účinnost. Nevýhodou je naopak vyšší pořizovací cena a složitější konstrukce.

Nejčastější konstrukcí je třífázové vinutí. Uvnitř je uložen rotor s permanentními magnety. Magnety bývají tvořeny slitinami vzácných kovů, aby byla magnetická indukce co nejvyšší. Motor dosahuje účinnosti okolo 90 %. Elektromotory, které jsou umístěny přímo v kole, nazýváme nábojové. Rotor je s permanentními magnety pevně spojen s koly a obepíná stator (Frybert, 2015), (Borba, 2013).



Obr. 10: Elektromotor zabudovaný v kole

Zdroj: Webové stránky Nazeleno (2015), upraveno

7 Zdroje energie

Zdroj energie elektromobilu nazýváme akumulátor. Akumulátor je technické zařízení, které slouží k opakované akumulaci elektrické energie a pracuje na různých principech. Jedná se o sekundární zdroj energie, to znamená, že se nejdříve musí nabít, a potom je možné jej použít jako zdroj energie. Akumulátory v automobilovém průmyslu pracují nejčastěji na elektrochemickém principu, kde dochází k přeměně elektrické energie na chemickou. Jedná se o vratný proces, který se projevuje rozdílným elektrochemickým potenciálem na elektrodách (Frybert, 2015).

Akumulátor je nejdražší a také nejtěžší prvek elektromobilu. Dobíjení trvá několikrát déle než tankování běžného paliva u spalovacího motoru. Životnost nejdražší části elektromobilu hraje velmi důležitou roli v tom, proč jezdí po silnicích stále tak malé množství vozů s elektrickým pohonem.

7.1 Důležité parametry

Mezi důležité parametry akumulátorů patří:

- Měrná energie [$\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$],
 - o Akumulátory s nejvyšší měrnou hustotou jsou nejvhodnější.
- Měrný výkon [$\text{W}\cdot\text{kg}^{-1}$],
- Doba dobíjení [h],
- Životnost,
- Cena,
- Údržba,
- Recyklace.

Tyto parametry výrazně ovlivňují budoucnost elektromobilů, protože hlavní nevýhodou je právě krátký dojezd, který mimo jiné souvisí s kapacitou akumulátoru (Vlk, 2004).

7.2 Druhy akumulátorů

Elektrochemické akumulátory můžeme rozdělit podle principu. Mezi nejčastěji používané akumulátory řadíme lithium-iontové, lithium iontové fosfátové, nikl kadmiové, nikl-metalhydridové a olovené akumulátory. Perspektivním akumulátorem energie je takzvaný superkondenzátor, který je schopen rychle akumulovat a následně odevzdat velké množství elektrické energie. Jeho životnost je vyšší než u běžných akumulátorů, nedochází k paměťovému efektu a není náchylný na opakované nabíjení a vybíjení vysokým proudem (Automatizace, © 2006).

7.3 Porovnání akumulátorů

V tab. 1 je porovnání parametrů jednotlivých typů akumulátorů. Nejvyšší měrnou hmotnost má lithium-iontová baterie, a to $90-160 \text{ W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$, nejnižší pak olovený akumulátor. Co se týče životnosti, nejvyšší počet dobíjecích cyklů má lithium-iontová fosfátová baterie, s hodnotou do 3000 cyklů. Olovený akumulátor má nejmenší tří až pětiletou letou životnost. Nejnižší dobíjecí účinnost, a to 66% má nikl-metalhydridový akumulátor.

Tab. 1: Přehled parametrů jednotlivých typů baterií

Typ baterie	Měrná hmotnost	Životnost		Dobíjecí účinnost
	$\text{W}\cdot\text{h}\cdot\text{kg}^{-1}$	Počet cyklů	Počet let	%
Olovo	30-40	500-800	3-5	70-90
Nikl-kadmium	40-60	>2000	3-10	66-90
Nikl-metalhydrid	30-80	1000	5-10	66
Lithium-ion	90-160	1000	4-8	80-90
Lithium-ion fosfát	80-120	>3000	3-10	95

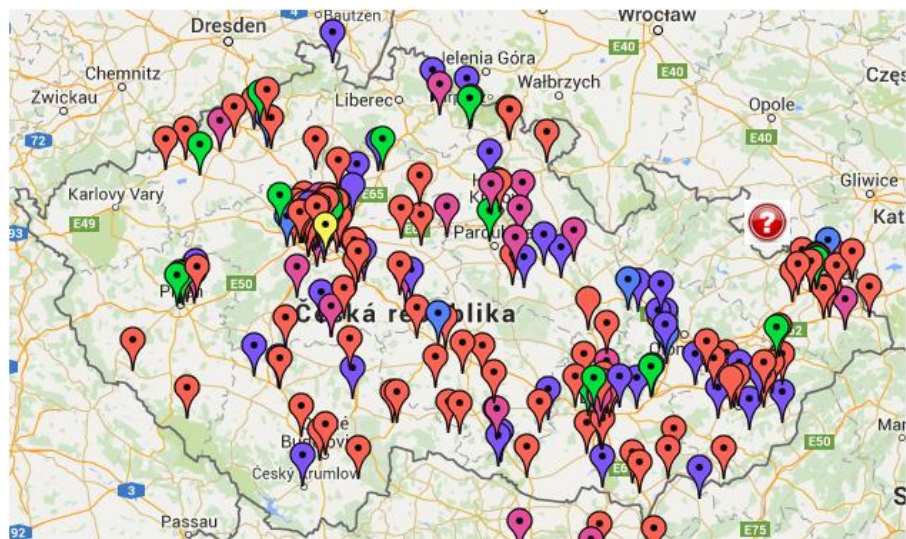
Zdroj: Vlastní zpracování, Hromádka (2012)

8 Dobíjení elektromobilu

Dobíjecí stanice jsou zařízení určená k dobíjení akumulátorů elektrických dopravních prostředků. V České republice je v současné době přibližně 250 dobíjecích stanic pro elektromobily a jejich počet se neustále zvyšuje. Svá auta si zde dobíjí asi 850 řidičů (Ekoauta, © 2016). Tyto stanice jsou buď veřejně přístupné nebo neveřejné, například v areálech podniků nebo škol s technickým zaměřením. Máme dva druhy nabíjecích stanic:

- *Do 22 kW/32 A na střídavý proud*, v tomto případě je nabíječka umístěna přímo v elektromobilu – jedná se o tzv. palubní nabíječku, kam přivádíme střídavý proud, který se potom mění na stejnosměrný a teče do baterie.
- *Nad 22 kW/32 A na stejnosměrný proud* (Hybrid, © 2015).

Na obr. 11 je aktuální mapa dobíjecích stanic k 31. 3. 2016. Nejvíce stanic je vybudováno v okolí velkých měst. Veřejné stanice jsou často zřízeny distributory elektrické energie pro Českou republiku. Mezi distributory patří: ČEZ, E.ON, PRE a RWE.



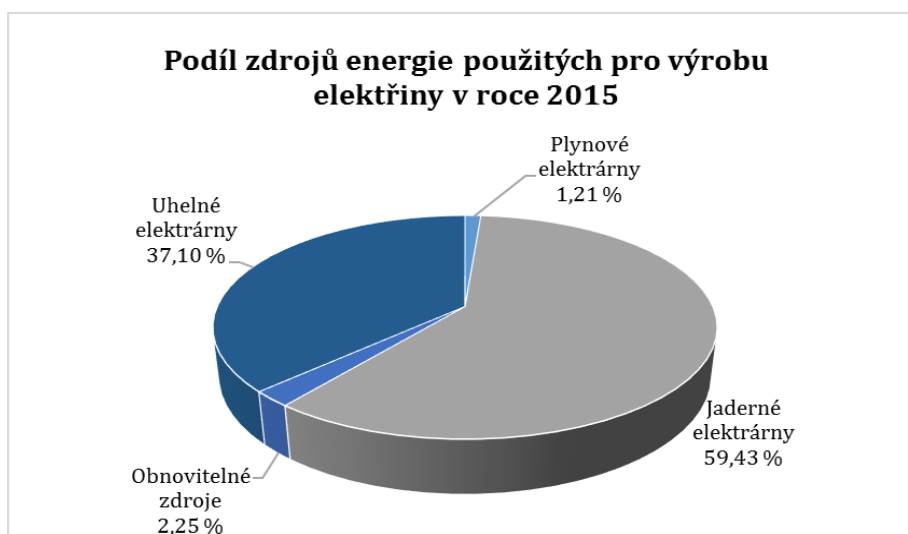
Obr. 11: Mapa všech dobíjecích stanic na území České republiky k 31. 3. 2016

Zdroj: Webové stránky ASEP (2016)

8.1 ČEZ

Skupina ČEZ se elektromobilitě věnuje od roku 2010, kdy spustila pilotní projekt Elektromobilita. Elektřinu ČEZ vyrábí, distribuuje a prodává zákazníkům. Hlavním cílem je navrhnout a otestovat komplexní řešení elektromobility jako služby, která kombinuje veřejnou dobíjecí síť s dodávkami elektřiny v rámci jednoho speciálního tarifu. ČEZ se také podílí na vývoji tzv. chytrých sítí a nabízí svým zákazníkům speciální tarif C27d + D27d, který je výhodný pro domácí dobíjení vozu. Jednu třetinu dne tak majitelé čerpají levnější elektřinu (ČEZ, © 2016). V současné době bylo nainstalováno 42 veřejných dobíjecí stanic. Stanice se převážně nacházejí u větších měst, obchodních center a supermarketů (EMobilita, © 2016).

Z obr. 12 vidíme, že ačkoliv ČEZ, a. s. klade důraz na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů, tak v roce 2015 využila tyto zdroje jen z 2,25 %. Oproti roku 2014 však došlo k mírnému nárůstu, a to z 2,13 % na současných 2,25 % (ČEZ, © 2016).



Obr. 12: Palivový mix ČEZ, a. s. v roce 2015

Zdroj: Webové stránky ČEZ (2015)

8.2 E.ON

Společnost E.ON propaguje elektromobilitu projektem zvaným Smart Mobility, kde mimo jiné podporuje i vozidla na stlačený zemní plyn CNG. E.ON vybudoval několik veřejných dobíjecích stanic. Na území České republiky provozuje asi 15 dobíjecích stanic. První stanici v České republice uvedl do provozu již v roce 2010, a to v nákupní Galerii Vaňkovka v Brně (E.ON, © 2016).



Obr. 13: První dobíjecí stanice v České republice

Zdroj: Webové stránky Hybrid (2010)

8.3 RWE

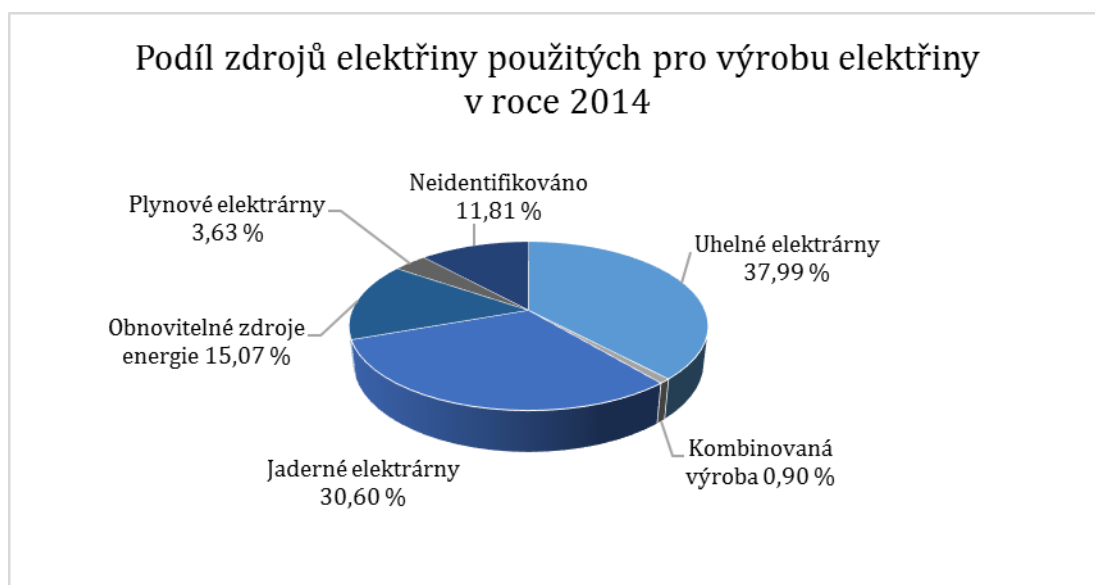
Společnost RWE řadíme mezi špičku v zavádění elektromobility v Evropě. V roce 2011 odstartovala společnost RWE projekt rozvoje elektromobility v České republice. O rok později, v roce 2012 provozovala společnost RWE 1990 dobíjecích míst v 17 zemích Evropy. Jako flotilu svých lodí po testování si RWE vybralo automobil Citroën C-Zero. V České republice se zaměřuje spíše na vozidla poháněná stlačeným zemním plynem CNG (RWE, © 2012).

Jediná veřejná dobíjecí stanice na našem území se nachází v Praze. Jedná se o kombinovanou dobíjecí stanici jak střídavým (AC), tak stejnosměrným proudem (DC) s výkonem až 22 kW AC a až 50 kW DC. S tímto výkonem je možné vozidlo dobít až dvacetkrát rychleji než z domácí zásuvky (Hybrid, © 2012).

8.4 Pražská energetika

Cílem Pražské energetiky (PRE) je rozvíjet oblasti elektromobility a být hlavním partnerem všem zájemcům o tuto problematiku. Společnost nabízí zájemcům operativní leasing elektromobilů a plug-in hybridů včetně bezplatného nabíjení z veřejné infrastruktury, kterou neustále dynamicky buduje. Pokud tedy klient dobíjí z veřejných stanic, snižuje tímto náklady na ujetý kilometr na minimum. PRE-Pointy, tedy dobíjecí stanice buduje již od roku 2011, v současné době je jich 35, a to zejména v Praze a blízkém okolí (PreMobilita, © 2016).

Na obr. 14 je zobrazeno, jakým způsobem Pražská energetika vyrábí elektrickou energii, kterou následně majitel elektromobilu dobíjí svůj vůz. Je patrné, že využití obnovitelných zdrojů energie je oproti ČEZu několikanásobně vyšší.



Obr. 14: Podíl zdrojů elektřiny v rámci PRE v roce 2015

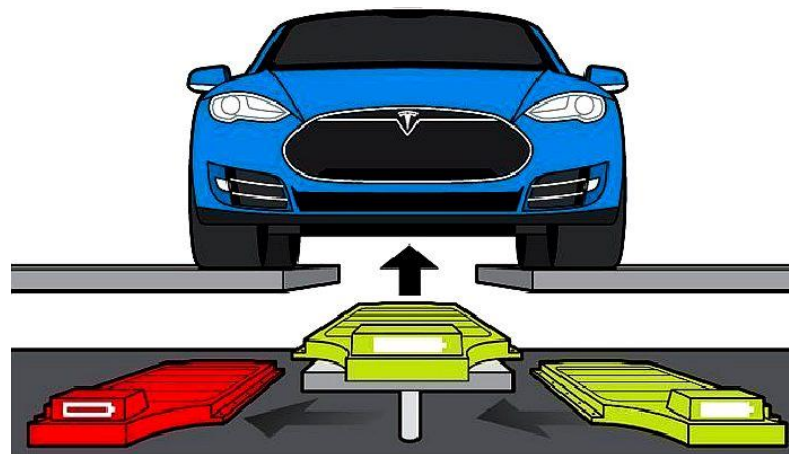
Zdroj: Webové stránky PRE (2015)

8.5 Dobíjení výměnou akumulátoru

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, samotné dobíjení a relativně krátký dojezd je hlavní nevýhodou elektromobilů. Kvůli krátkému akčnímu rádiu by si mnoho lidí elektromobil nikdy nepořídilo. Přitom průměrná vzdálenost jedné cesty je 33 km (Neubergová, 2005).

Dobíjení je pro řidiče dlouhý proces trvajícím i několik hodin. Automobilka Tesla proto přišla s novinkou, a to v podobě výměny baterie. Stanice na výměnu baterie byla otevřena v Kalifornii v červnu roku 2015. Jedná se o automatizovaný systém, kdy dojde k výměně baterie již za 90 sekund. Výměna baterie stojí v přepočtu asi 2000 Kč.

Automobil najede na kolejnice a je mírně nadzvednut, následně dojde plně automatizované robotické výměně ploché baterie. Nová baterie je pouze vypůjčená, ale majitel si ji může ponechat, poté ale musí zaplatit doplatek, který je vztažený k amortizaci původní baterie (Hybrid, © 2015).



Obr. 15: Schéma výměny baterie

Zdroj: Webové stránky Bluebird electric (2016)

9 Materiál a metodika zpracování

Závěrečná práce sestává ze dvou částí, a to z části teoretické a části praktické. Pro zpracování závěrečné práce byla využita zejména odborná literatura, odborné články, katalogy, ale vzhledem k dynamicky a neustále se vyvíjejícímu tématu zejména internetové zdroje. V práci docházelo ke zpracování technických dat a syntéze teoretických poznatků. Praktická část se věnuje analýze technických parametrů vybraných sedmi osobních motorových vozidel.

9.1 Metoda vícekriteriálního rozhodování

Při řešení rozhodovacích problémů se často setkáváme s případy, kdy optimální rozhodnutí musí vyhovovat více než jednomu kritériu. Zadaná kritéria mohou být maximalizační, kdy chceme, aby byl technický parametr co nejvyšší (výkon, dojezd) nebo minimalizační, kde je naopak žádoucí co nejnižší (cena, spotřeba).

Většina metod vícekriteriálního rozhodování vyžaduje odlišení jednotlivých kritérií z hlediska jejich významnosti. Jednou z možností je číselné vyjádření této významnosti pomocí tzv. vah (čím je kritérium významnější, tím je jeho váha větší). Při užití metody váženého součtu pracujeme s váhami jednotlivých kritérií, které byly odhadnuty.

Jedná se v podstatě o procentuální porovnání s nejméně příhodným parametrem, který automaticky nabývá hodnoty 1,0 a je vynásobený vahou kritéria. Za kompromisní variantu vybereme tu, která bude mít vážený součet nejvyšší.

Určili jsme si konkrétní kritéria $K1$ až $K6$ (maximální výkon, točivý moment, cena, dojezd, spotřeba a doba dobíjení); každé kritérium je buď maximalizační (vyšší absolutní hodnota je žádoucí a přináší užitek) nebo minimalizační (analogicky snaha o nejnižší hodnotu). Každé kritérium K_i má váhu w_i , přičemž platí, že:

$$\sum_{i=1}^6 w_i = 1,0$$

Čím vyšší je hodnota w_i , tím vyšší má kritérium důležitost. Dále jsme zavedli varianty (alternativy) $A1$ až $A7$, kde ke každé variantě náleží vážený součet v_s , kde vyšší hodnota znamená vyšší (lepší) hodnocení. Platí, že:

$$v_s = \sum_{i=1}^6 s_j$$

kde j je číslo v rozsahu 1-7 (počet alternativ); i je počet kritérií; s_j je konkrétní hodnota součtu alternativy pro dané kritérium a parametr.

Pro maximalizační kritéria platí:

$$s_j = w_i \cdot \frac{H_{ij}}{D_i}$$

Pro minimalizační potom:

$$s_j = w_i \cdot \frac{D_i}{H_{ij}}$$

kde D_i je nejvyšší hodnota daného kritéria pro všechny alternativy v případě maximalizačního hlediska, anebo naopak nejnižší v případě minimalizačního hlediska. H_{ij} je pak konkrétní absolutní hodnota alternativy pro dané kritérium (např. 77 pro vůz, který mám maximální výkon 77 kW).

9.2 Určení závislosti technických parametrů

Výpočet a grafická závislost byla vyjádřena pomocí programu společnosti Microsoft, Excel. Zjišťována byla lineární závislost několika parametrů, jako je maximální výkon, zrychlení, cena, kapacita baterie a další.

Na osy byla vynesena data, která byla proložena přímkou. Index determinace následně určil velikost závislosti, tedy kolik procent rozptylu vysvětlované proměnné bylo vysvětleno modelem a kolik nebylo. Index nabývá hodnot v rozsahu 0-1. Čím více se hodnoty blíží 0, tím považujeme danou závislost za slabší a daný model za méně výstižný, naopak čím více se hodnoty blíží 1, považujeme danou závislost za silnější.

10 Technické parametry vybraných vozidel

V kapitole 10 jsou uvedena vybraná vozidla, která se nabízejí na českém trhu, a jejich technické parametry. Mezi porovnávané parametry byly vybrány tyto vlastnosti:

- Typ elektromotoru,
- Maximální výkon (v jednotce kW),
- Točivý moment (N·m),
- Cena s DPH (Kč), vždy k 31. 3. 2016,
- Maximální dojezd (km),
- Maximální rychlost (km/h),
- Zrychlení 0-100 km (s),
- Spotřeba (kWh/100 km),
- Pohotovostní hmotnost (kg),
- Typ a kapacita baterie (kWh),
- Doba dobíjení
 - o Pomalé dobíjení – jednofázová síť 230 V,
 - o Rychlé dobíjení – dobíjecí stanice.

Vzhledem ke skutečnosti, že elektromobilita nabývá v současné době na významu, tak se téměř všechny automobilky zajímají nebo vyvíjí či prodávají vozidla s plně elektrickým pohonem. Mezi tyto společnosti patří zejména americká společnost Tesla Motors, která se zaměřuje výhradně na elektromobily. Do porovnávaných automobilů nebyla však záměrně zařazena, protože se se svými parametry prakticky nedá srovnávat s běžně prodávanými elektromobily. Poptávka po vozidlech společnosti Tesla je však obrovská, a tak zájemci často čekají na svůj vůz i několik let. Vozy Tesla dosahují maximálního výkonu až 515 kW, točivého momentu 930 N·m a s kapacitou baterií 85 kWh dosahují dojezdu až 480 km (Auto.cz, © 2016).

10.1 Peugeot iOn

Peugeot iOn je mezi vybranými vozy elektromobil s nejmenším maximálním výkonem a točivým momentem. S výkonem 47 kW a točivým momentem 180 N·m dosáhne maximální rychlosti 130 km/h. Dojezd činí 150 km na jedno dobíjení. Peugeot s cenou 717 288 Kč s DPH patří mezi nejlevnější porovnávané vozy.



Obr. 16: Peugeot iOn

Zdroj: Webové stránky Peugeot (2016)

Tab. 2: Technické parametry Peugeot iOn

Peugeot	iOn
Typ motoru	Synchronní AC motor s permanentními magnety
Maximální výkon (kW)	47
Točivý moment (N·m)	180
Cena s DPH (Kč)	717 288
Dojezd (km)	150
Maximální rychlost (km/h)	130
Zrychlení (0-100 km/h)	15,9
Spotřeba (kWh/100 km)	13,5
Emise CO ₂ (g/km)	0
Hmotnost (kg)	1 120
Kapacita baterií (kWh)	16
Typ baterie	Lithium-Ion
Pomalé dobíjení (h)	6
Rychlé dobíjení (min)	30 ¹

Zdroj: Webové stránky Peugeot (2016)

¹ Dobíjení do 80 % kapacity baterie.

10.2 Citroën C-Zero

Citroën C-ZERO pohání elektromotor o výkonu 49 kW. Napájí ho lithium-iontová baterie, která je umístěna pod podlahou z důvodu bezpečnosti při nárazu a má kapacitu 16 kWh. Baterie snižuje těžiště vozu a zachová tak prostornější interiér. Klasická domácí zásuvka o parametrech 230V s 8A nabije baterii za 11 hodin.



Obr. 17: Citroën C-Zero

Zdroj: Webové stránky Citroën (2016)

Tab. 3: Technické parametry Citroën C-Zero

Citroën	C-Zero
Typ motoru	Synchronní AC motor s permanentními magnety
Maximální výkon (kW)	49
Točivý moment (N·m)	196
Cena s DPH (Kč)	717 288
Dojezd (km)	150
Maximální rychlost (km/h)	130
Zrychlení (0-100 km/h)	15,9
Spotřeba (kWh/100 km)	13,5
Emise CO ₂ (g/km)	0
Hmotnost (kg)	1 195
Kapacita baterií (kWh)	16
Typ baterie	Lithium-Ion
Pomalé dobíjení (h)	11
Rychlé dobíjení (min)	30 ²

Zdroj: Webové stránky Citroën (2016)

² Dobíjení při napětí 400 V a proud 125 A

10.3 Volkswagen e-up!

Volkswagen e-up! má lithium-iontový akumulátor uložený ve střední části podlahy v prostoru pod zadními sedadly. Jeho kapacita činí 18,7 kWh a po plném nabití umožňuje dojezd do vzdálenosti 160 kilometrů. Cena s DPH je 619 900 Kč a je tak mezi porovnávanými elektromobily nejlevnější.



Obr. 18: Volkswagen e-up!

Zdroj: Webové stránky Volkswagen (2016)

Tab. 4: Technické parametry Volkswagen e-up!

Volkswagen	e-up!
Typ motoru	Synchronní AC motor s permanentními magnety
Maximální výkon (kW)	60
Točivý moment (N·m)	210
Cena s DPH (Kč)	619 900
Dojezd (km)	160
Maximální rychlost (km/h)	130
Zrychlení (0-100 km/h)	12,4
Spotřeba (kWh/100 km)	11,7
Emise CO ₂ (g/km)	0
Hmotnost (kg)	1 214
Kapacita baterií (kWh)	18,7
Typ baterie	Lithium-Ion
Pomalé dobíjení (h)	8
Rychlé dobíjení (min)	30 ³

Zdroj: Webové stránky Volkswagen (2016)

³ Dobíjení do 80 % kapacity baterie.

10.4 Nissan Leaf

Nissan Leaf se stal jedním z prvních sériově vyráběných elektromobilů. Japonská automobilka ho uvedla na trh na přelomu roku 2010 a 2011. Dojezd Nissanu Leaf je 199 km na jedno nabití, které z domácí zásuvky trvá až 12 hodin. Nissan má lithium-iontovou baterii s kapacitou 24 kWh a také nejvyšší spotřebu mezi porovnávanými elektromobily na 100 km, a to 15 kWh.



Obr. 19: Nissan Leaf

Zdroj: Webové stránky Nissan (2016)

Tab. 5: Technické parametry Nissan Leaf

Nissan	Leaf
Typ motoru	Synchronní AC motor s permanentními magnety
Maximální výkon (kW)	80
Točivý moment (N·m)	254
Cena s DPH (Kč)	730 000
Dojezd (km)	199
Maximální rychlost (km/h)	144
Zrychlení (0-100 km/h)	11,5
Spotřeba (kWh/100km)	15,0
Emise CO ₂ (g/km)	0
Hmotnost (kg)	1 475
Kapacita baterií (kWh)	24
Typ baterie	Lithium-Ion
Pomalé dobíjení (h)	12
Rychlé dobíjení (min)	30 ⁴

Zdroj: Webové stránky Nissan (2016)

⁴ Dobíjení do 80 % kapacity baterie.

10.5 Kia Soul

Kia Soul je mezi porovnávanými elektromobily nejdražší a jako jediný elektromobil překračuje hranici milionu korun, 1 028 476 Kč s DPH. Za tuto cenu ovšem jako jediný vůz nabízí dojezd přes 200 km na jedno dobití, s výkonem 81 kW, točivým momentem 285 N·m a kapacitou akumulátoru 27 kWh.



Obr. 20: Kia Soul

Zdroj: Webové stránky Kia (2016)

Tab. 6: Technické parametry Kia Soul

Kia	Soul
Typ motoru	Synchronní AC motor s permanentními magnety
Maximální výkon (kW)	81
Točivý moment (N·m)	285
Cena s DPH (Kč)	1 028 476
Dojezd (km)	212
Maximální rychlost (km/h)	154
Zrychlení (0-100 km/h)	11,2
Spotřeba (kWh/100 km)	14,7
Emise CO ₂ (g/km)	0
Hmotnost (kg)	1 490
Kapacita baterií (kWh)	27
Typ baterie	Lithium-Ion
Pomalé dobíjení (h)	18
Rychlé dobíjení (min)	24

Zdroj: Webové stránky Kia (2016)

10.6 Volkswagen e-Golf

Volkswagen e-Golf byl představen v roce 2013 ve Frankfurtu. Řadí se mezi elektromobily s nejmenší spotřebou. Volkswagen poskytuje na lithium-iontové baterie osmiletou záruku. Mezi porovnávanými vozy má e-Golf druhou největší kapacitu baterie, a to 26,5 kWh. Dále má nejvyšší pohotovostní hmotnost 1 585 kg.



Obr. 21: Volkswagen e-Golf

Zdroj: Webové stránky Volkswagen (2016)

Tab. 7: Technické parametry Volkswagen e-Golf

Volkswagen	e-Golf
Typ motoru	Synchronní AC motor s permanentními magnety
Maximální výkon (kW)	85
Točivý moment (N·m)	270
Cena s DPH (Kč)	930 900
Dojezd (km)	190
Maximální rychlost (km/h)	140
Zrychlení (0-100 km/h)	10,4
Spotřeba (kWh/100 km)	12,7
Emise CO ₂ (g/km)	0
Hmotnost (kg)	1 585
Kapacita baterií (kWh)	26,5
Typ baterie	Lithium-Ion
Pomalé dobíjení (h)	13
Rychlé dobíjení (min)	30 ⁵

Zdroj: Webové stránky Volkswagen (2016)

⁵ Dobíjení do 80 % kapacity baterie.

10.7 BMW i3

BMW model i3 byl uveden na trh koncem roku 2013 a v roce 2015 se stal třetím nejprodávanějším elektromobilem na světě. BMW i3 je mezi porovnávanými vozidly elektromobil s největším výkonem 125 kW. Z 0-100 km/h zrychlí za 7,2 s a dosahuje maximální rychlosti 150 km/h.



Obr. 22: BMW i3

Zdroj: Webové stránky BMW (2016)

Tab. 8: Technické parametry BMW i3

BMW	i3
Typ motoru	Synchronní AC motor s permanentními magnety
Maximální výkon (kW)	125
Točivý moment (N·m)	250
Cena s DPH (Kč)	936 000
Dojezd (km)	190
Maximální rychlost (km/h)	150
Zrychlení (0-100 km/h)	7,2
Spotřeba (kWh/100 km)	12,9
Emise CO ₂ (g/km)	0
Hmotnost (kg)	1 195
Kapacita baterií (kWh)	18,8
Typ baterie	Lithium-Ion
Pomalé dobíjení (h)	8
Rychlé dobíjení (min)	30 ⁶

Zdroj: Webové stránky BMW (2016)

⁶ Dobíjení do 80 % kapacity baterie.

11 Analýza získaných technických parametrů

Kapitola 11 se zabývá analýzou vybraných technických parametrů osobních silničních vozidel, využívající jako zdroj energie výhradně elektřinu. Vybrána byla nejprodávanější vozidla na českém trhu, vyjma automobilů značky Tesla. K analýze parametrů byla zvolena metoda vícekriteriálního rozhodování (metoda váženého součtu) popsána v kapitole Materiál a metodika zpracování a statistická závislost.

11.1 Vícekriteriální rozhodování - metoda váženého součtu

V tab. 9 jsou zobrazeny vybrané parametry jednotlivých elektromobilů. Každému parametru byl přiřazen typ kritéria. Dále byla v tab. 9 zvolena váha jednotlivých kritérií, jejich součet dává hodnotu 1,0. Váhy jednotlivých kritérií byly vyznačeny modrou barvou. Vzhledem k tomu, že u elektromobilů je důležitým parametrem pro kupce hlavně jeho cena, tomuto parametru byla přiřazena váha 0,4; maximálnímu dojezdu 0,25; výkonu 0,15; době dobíjení 0,1 a spotřebě a točivému momentu po 0,05.

Tab. 9: Vybrané technické parametry

	Kritérium		iOn	C-Zero	e-up!	Leaf	Soul	e-Golf	i3
	Typ	Váha	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Max. výkon K1	MAX	0,15	47	49	60	80	81	85	125
Točivý moment K2	MAX	0,05	180	196	210	254	285	270	250
Dojezd K3	MAX	0,25	150	150	160	199	212	190	190
Cena K4	MIN	0,40	717 288	717 288	619 900	730 000	1 028 476	930 900	936 000
Spotřeba K5	MIN	0,05	13,5	13,5	11,7	15,0	14,7	12,7	12,9
Dobíjení K6	MIN	0,10	6	11	8	12	18	13	8

Zdroj: Vlastní zpracování, webové stránky prodejců automobilů

Příklad výpočtu pro Maximální výkon (K1):

- Protože výkon chceme co nejvyšší, jedná se o maximalizační kritérium,
- Maximální výkon má hodnotu vah stanovenou na 0,15, proto všechny poměry výkonů budeme násobit 0,15,
- Vůz s nejvyšším výkonem – BMW i3 nabývá automaticky max. hodnoty 1,0,
- Peugeot iOn má výkon 47 kW, proto podělíme výkon Peugeotu iOn a výkon BMW i3 $47/125=0,38$ a tento poměr vynásobíme vahou $0,38 \cdot 0,15 = 0,056$.

Tab. 10: Výpočet hodnot pro jednotlivé parametry

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
K1	$0,15 \cdot \frac{47}{125}$	$0,15 \cdot \frac{49}{125}$	$0,15 \cdot \frac{60}{125}$	$0,15 \cdot \frac{80}{125}$	$0,15 \cdot \frac{81}{125}$	$0,15 \cdot \frac{85}{125}$	$0,15 \cdot \frac{125}{125}$
K2	$0,05 \cdot \frac{180}{285}$	$0,05 \cdot \frac{196}{285}$	$0,05 \cdot \frac{210}{285}$	$0,05 \cdot \frac{254}{285}$	$0,05 \cdot \frac{285}{285}$	$0,05 \cdot \frac{270}{285}$	$0,05 \cdot \frac{250}{285}$
K3	$0,25 \cdot \frac{150}{212}$	$0,25 \cdot \frac{150}{212}$	$0,25 \cdot \frac{160}{212}$	$0,25 \cdot \frac{199}{212}$	$0,25 \cdot \frac{212}{212}$	$0,25 \cdot \frac{190}{212}$	$0,25 \cdot \frac{190}{212}$
K4	$0,4 \cdot \frac{619900}{717288}$	$0,4 \cdot \frac{619900}{717288}$	$0,4 \cdot \frac{619900}{619900}$	$0,4 \cdot \frac{619900}{730000}$	$0,4 \cdot \frac{619900}{1028476}$	$0,4 \cdot \frac{619900}{930300}$	$0,4 \cdot \frac{619900}{936000}$
K5	$0,05 \cdot \frac{11,7}{13,5}$	$0,05 \cdot \frac{11,7}{13,5}$	$0,05 \cdot \frac{11,7}{11,7}$	$0,05 \cdot \frac{11,7}{15}$	$0,05 \cdot \frac{11,7}{14,7}$	$0,05 \cdot \frac{11,7}{12,7}$	$0,05 \cdot \frac{11,7}{12,9}$
K6	$0,1 \cdot \frac{6}{6}$	$0,1 \cdot \frac{6}{11}$	$0,1 \cdot \frac{6}{8}$	$0,1 \cdot \frac{6}{12}$	$0,1 \cdot \frac{6}{18}$	$0,1 \cdot \frac{6}{13}$	$0,1 \cdot \frac{6}{8}$

Zdroj: Vlastní zpracování

Tab. 11: Ohodnocení parametrů metodou váženého součtu

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
K1	0,056	0,059	0,072	0,096	0,098	0,102	0,150
K2	0,032	0,034	0,037	0,045	0,050	0,047	0,044
K3	0,177	0,177	0,189	0,235	0,250	0,224	0,224
K4	0,346	0,346	0,400	0,340	0,241	0,266	0,265
K5	0,043	0,043	0,050	0,039	0,040	0,046	0,045
K6	0,100	0,055	0,075	0,050	0,033	0,046	0,075
Vážený součet	0,754	0,714	0,823	0,804	0,712	0,732	0,803
Pořadí	4.	6.	1.	2.	7.	5.	3.

Zdroj: Vlastní zpracování

Podle zvolených vah nejlepší hodnocení získal elektromobil Volkswagen e-up!, zejména pro cenu vozu. Jako nejméně výhodný elektromobil pak Kia Soul i přesto, že má Kia nejlepší točivý moment a nejvyšší dojezd, podstatný negativní vliv měla zejména cena. Na pomyslném druhém místě je elektromobil Nissan Leaf a ve velmi těsném závěsu BMW i3.

11.2 Vlastní analýza technických parametrů

Tato část práce se věnuje závislosti jednotlivých parametrů. Mezi tyto parametry patří například cena, dojezd, kapacita akumulátoru, hmotnost a další. Do grafu byly vyneseny jednotlivé hodnoty a těmito hodnotami byla proložena přímka. Čím více se body blíží přímce, tím je rozptyl hodnot nižší a závislost větší.

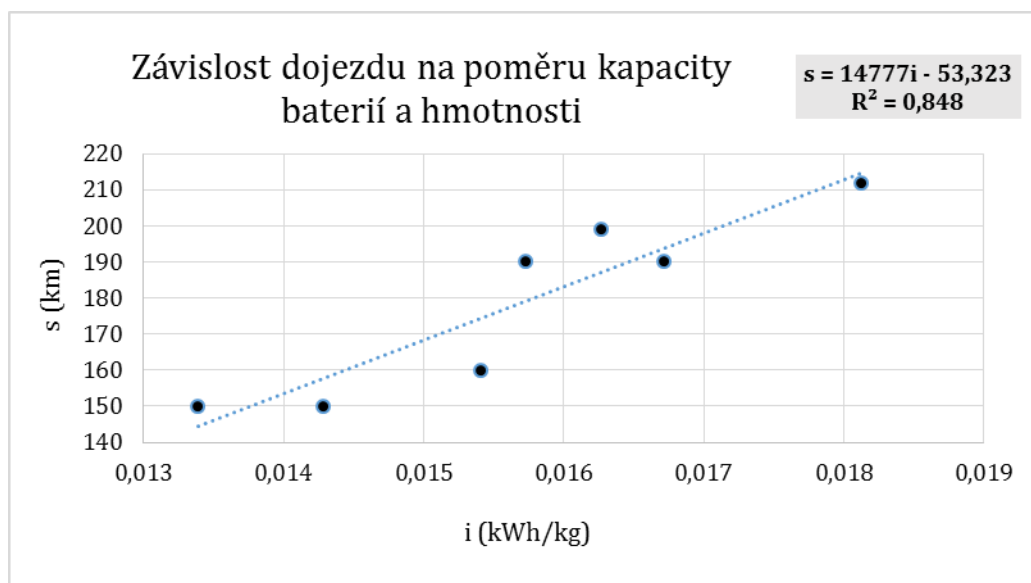
11.2.1 Závislost dojezdu na poměru kapacity baterií a hmotnosti

Na obr. 23 je znázorněna závislost maximálního dojezdu (s) elektromobilu na poměru kapacity baterie a hmotnosti. Z obrázku je patrná lineární závislost, kde je hodnota indexu determinace 0,85.

Tab. 12: Vybrané technické parametry

	Peugeot	Citroën	VW	Nissan	Kia	VW	BMW
	iOn	C-Zero	e-up!	Leaf	Soul	e-Golf	i3
Kapacita/hmotnost (kWh/kg)	0,01429	0,01339	0,01540	0,01627	0,01812	0,01672	0,01573
Dojezd (km)	150	150	160	199	212	190	190

Zdroj: Vlastní zpracování, webové stránky prodejců automobilů



Obr. 23: Závislost dojezdu na poměru kapacity baterií a hmotnosti

Zdroj: Vlastní zpracování

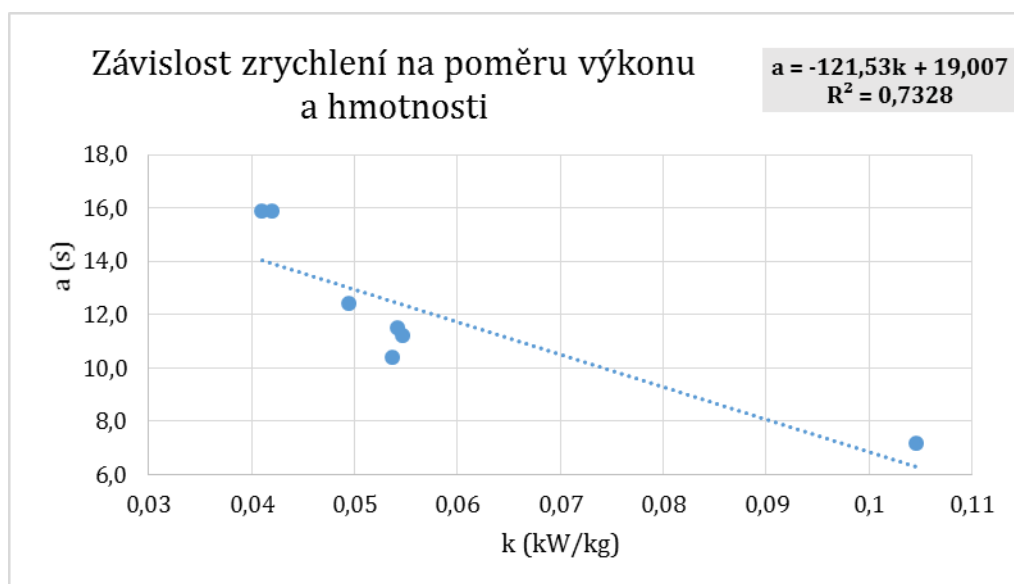
11.2.2 Závislost zrychlení na poměru maximálního výkonu a hmotnosti

Na obr. 24 je znázorněna závislost zrychlení (a) na poměru maximálního výkonu a hmotnosti. Na základě regresní analýzy byla zjištěna lineární závislost, a to čím nižší je poměr výkonu k hmotnosti vozidla, roste zrychlení. Vypočtená hodnota indexu determinace byla 0,73; což můžeme považovat za významnou závislost.

Tab. 13: Vybrané technické parametry

	Peugeot	Citroën	VW	Nissan	Kia	VW	BMW
	iOn	C-Zero	e-up!	Leaf	Soul	e-Golf	i3
Výkon/hmotnost (kW/kg)	0,04196	0,04101	0,04942	0,05424	0,05463	0,05363	0,10460
Zrychlení (s)	15,9	15,9	12,4	11,5	11,2	10,4	7,2

Zdroj: Vlastní zpracování, webové stránky prodejců automobilů



Obr. 24: Závislost zrychlení na poměru výkonu a hmotnosti

Zdroj: Vlastní zpracování

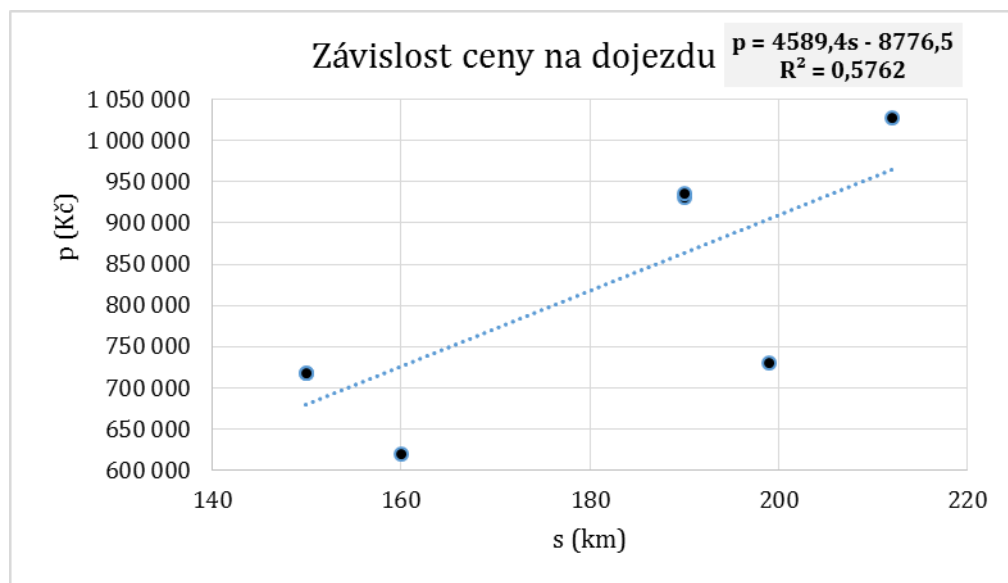
11.2.3 Závislost ceny na maximálním dojezdu

Obr. 25 znázorňuje závislost ceny (p) na maximálním dojezdu (s). Nejvyšší dojezd má elektromobil Kia Soul, s 212 km na jedno dobití. Cena Kii Soul je také nejvyšší, za jeden garantovaný kilometr tak automobilce Kia zaplatíme 4 851 Kč. Nejvýhodnější cena za garantovaný kilometr má vůz Nissan Leaf s cenou 3 668 Kč na km.

Tab. 14: Vybrané technické parametry

	Peugeot	Citroën	VW	Nissan	Kia	VW	BMW
	iOn	C-Zero	e-up!	Leaf	Soul	e-Golf	i3
Dojezd (km)	150	150	160	199	212	190	190
Cena s DPH (Kč)	717 288	717 288	619 900	730 000	1 028 476	930 900	936 000

Zdroj: Vlastní zpracování, webové stránky prodejců automobilů



Obr. 25: Závislost ceny na dojezdu

Zdroj: Vlastní zpracování

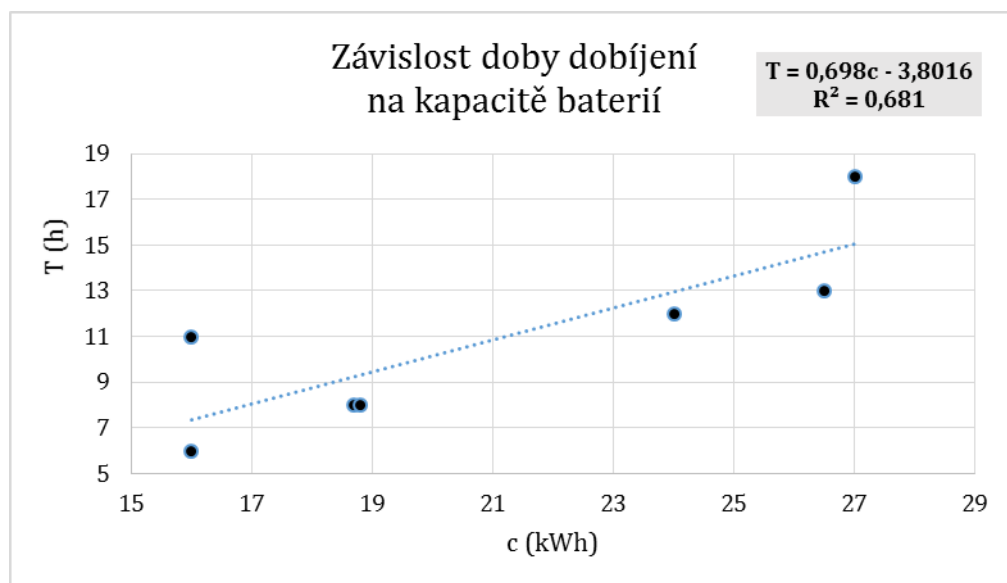
11.2.4 Závislost doby dobíjení na kapacitě baterií

Lineární závislost mezi dobou dobíjení (T) na kapacitě baterií (c) je zobrazen na obr. 26. U doby dobíjení se jedná o takzvané pomalé dobíjení z běžné domácí jednofázové zásuvky. Nejmenší kapacitu baterie má vůz Peugeot iOn a Citroën C-Zero, a to 16 kWh, kdy Peugeot iOn se dobíjí 6 hodin a Citroën C-Zero celých 11 hodin, což je téměř dvojnásobný čas.

Tab. 15: Vybrané technické parametry

	Peugeot iOn	Citroën C-Zero	VW e-up!	Nissan Leaf	Kia Soul	VW e-Golf	BMW i3
Kapacita baterií (kWh)	16	16	18,7	24	27	26,5	18,8
Doba dobíjení (h)	6	11	8	12	18	13	8

Zdroj: Vlastní zpracování, webové stránky prodejců automobilů



Obr. 26: Závislost doby dobíjení na kapacitě baterií

Zdroj: Vlastní zpracování

12 Závěr

Elektromobilitě se v současné době dostává relativně velkého zájmu. Problémy týkající se životního prostředí řeší všechny vyspělé země světa. Elektromotory již nejsou typické pouze pro vozidla, jako jsou elektrokola, skútry a elektromobily, ale stále více se elektromotory využívají například pro elektrobusy, či vývoj letadel (zatím se jedná o menší ekologicky šetrné letouny).

Využití elektromotorů v hromadné dopravě může výrazně přispět ke zlepšení stavu ovzduší zejména ve velkých městech, nejen v České republice. Je ovšem nutné, aby elektřina, která se používá k dobíjení elektromobilů, pocházela častěji z obnovitelných zdrojů. Jen tak budou vozidla ekologická. Využívání obnovitelných zdrojů v České republice bylo zjištěno jako nedostačující: například společnost ČEZ, která se věnuje elektromobilitě 6 let, využívá obnovitelné zdroje jen z 2,25 %.

Elektromobilita jako taková je ovšem neustále se dynamicky vyvíjejícím se odvětvím. A proto omezený akční rádius bude zcela určitě v co nejkratší době vyřešen novými technologiemi a nevýhody elektromobilů tak budou potlačeny. Neustále dochází k rozvíjení nedostačující infrastruktury pro dobíjení elektromobilů, a tak i tento nedostatek bude v blízké době vyřešen. Před koupí elektromobilu jsou z důvodu nedostatečné infrastruktury dobíjecích stanic preferována často hybridní vozidla, tedy vozidla využívající jak spalovací motor, tak i elektromotor.

Elektromobily v současné době dosahují maximálního dojezdu až 560 km, maximální dojezd většiny vozidel se však pohybuje okolo 200 km. Hmotnost elektromobilů je však kvůli baterii relativně velká a s tím souvisí i menší dojezd. V budoucnu se automobilky vyrábějící elektromobily budou muset zaměřit na nové typy akumulátorů, které budou mít větší měrnou energii, tedy menší hmotnost s velkou kapacitou baterie, se kterou souvisí i maximální dojezd vozidla na jedno dobití. Dalším nemalým problémem, který odrazuje potenciální zákazníky od koupi, může být i nízká životnost baterií a její následná výměna, která je finančně velmi náročná.

Seznam použité literatury

Knižní zdroje

BADIDA, Miroslav. *Environmentalistika: alternatívne pohony automobilov*. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2007, 107 s. ISBN 978-80-8073-937-9.

BORBA, Ladislav. *Elektrické pohony a výkonová elektronika: alternatívne pohony automobilov*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2013, 227 s. ISBN 978-80-227-3858-3.

FRIČ, Jindřich. *Silniční doprava*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 157 s. ISBN 978-80-7204-728-4.

FRYBERT, Jan, et al. *Alternativní pohony*. Brno: Integrovaná střední škola automobilní, 2015, 125 s. ISBN 978-80-260-7548-6.

HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 158 s. ISBN 978-80-247-4455-1.

KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2004, 231 s. ISBN 80-7300-127-6.

KAMEŠ, Josef. *Spalovací motorová vozidla: část: Spalovací motory*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2002, 109 s. ISBN 8021308958.

NEUBERGOVÁ, Kristýna. *Ekologické aspekty dopravy*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 163 s. ISBN 80-010-3131-4.

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

VLK, František. *Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel: alternativní pohony: komfortní systémy: řízení dynamiky: informační systémy*. Brno: VLK, 2000, 367 s. ISBN 80-238-5276-0.

Internetové zdroje

Asociace elektromobilového průmyslu: Nabíjení elektromobilu [online]. [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: www.google.com/maps/d/viewer?msa=0&mid=zKQCDB56Mjv4.kx_q-PAk3ezY

Auto.cz: Tesla Model S P85D – Tohle je budoucnost [online]. [cit. 2016-05-06]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-tesla-model-s-p85d-tohle-je-budoucnost-87792>

Autorevue: Kolik emisí CO2 vypouštějí elektromobily? [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: www.autorevue.cz/kolik-emisi-co2-vypousteji-elektromobily-klidne-i-370-g/km

Automatizace.hw.cz: Superkondenzátor - princip, vlastnosti, použití [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: www.automatizace.hw.cz/clanek/2006122601

Bluebird electric: Tesla Battery Cartridge Swapping Technology [online]. [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: www.bluebird-electric.net/blueplanet_ecostar/tesla_elon_musk_battery_cartridge_swap_demonstration.html

BMW: BMW i3 [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: www.bmw.cz/cs/all-models/bmw-i/i3/2013/technicaldata.html#tab-0

Citroën: Citroën C-Zero [online]. 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.citroen.cz/vozy/citroen.html>

Ekoauta: V Česku přibývají dobíjecí stanice pro elektromobily [online]. [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: www.ekoauta.cz/index.php/elektromobily/item/157-v-cesku-pribyvaji-dobijeci-stance-pro-elektromobily

EkoBonus: Elektromobilita [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: www.ekobonus.cz/elektromobilita

Elektromobily [online]. [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: www.elektromobil.vseznamu.cz/historie-elektromobilismu

Elektromobily informace [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: www.elektromobil.vseznamu.cz/ekonomicke-aspekty-eeeni-elektromobil/naklady-benzin-vs-elektina

Elektrina.cz [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: www.elektrina.cz/vyroba-elektriny-v-cr-nejvic-energie-stale-ziskavame-z-uhelných-elektren

Energetický regulační úřad [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: www.eru.cz/cs/elektrina/statistika-a-sledovani-kvality/rocni-zpravy-o-provozu

Emobilita Skupina ČEZ [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: www.elektromobilita.cz/

Eurooldtimers.com: Jenatzy, Křížík, Jeantaud a elektromobily [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: www.eurooldtimers.com/cze/historie-clanek/771-jenatzy-krizik-jeantaud-a-elektromobily.html

Hybrid.cz: Elektromobily [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/>

Kia: Kia Soul EV [online]. 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: http://www.kia.com/cz/kampane/soul_ev/

Nazeleno.cz. Fosilní paliva [online]. [cit. 2016-02-29]. Dostupné z: www.nazeleno.cz/fosilni-paliva.dic

Nazeleno.cz: Motor v kolech. Je ideálním řešením pro elektromobily? [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-ideálním-řešením-pro-elektromobily.aspx>

Nissan: Nissan Leaf [online]. 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.nissan.cz/CZ/cs/vehicle/electric-vehicles/leaf.html>

OENERGETICE.cz: Elektrina [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: www.oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/vyroba-elektriny-z-obnovitelných-zdroju-muze-prekonat-uhli-jiz-v-roce-2030/

Peníze.cz: Cena kWh elektřiny v roce 2015 [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: www.penize.cz/nakupy/294289-cena-kwh-elektriny-v-roce-2015-tady-ji-najdete!

Peugeot: Peugeot iOn [online]. 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.peugeot.cz/objevte-vic/ion/5-dverovy/deliaPreview=1/p=technicke-parametry/>

PRE Mobilita: Elektromobilita [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: www.premobilita.cz

První elektromotory a elektromobily na světě se datují od roku 1834. *Inuru.com* [online]. 2012 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: www.inuru.com/index.php/planeta/mezniky-vedy/468-historie-elektromobil-elektromotor

RWE: RWE je evropskou jedničkou v zavádění elektromobility [online]. [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: www.rwe.cz/cs/13253-12698/

TOP AZ [online]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: www.top-az.eu/nazory-vzdelavani/?clanek=elektromobilita-budouci-vyvoj-energetiky-a-dopravy-89

Volkswagen [online]. 2016 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.volkswagen.cz/>

Seznam obrázků

Obr. 1: Přehled energií použitelných pro výrobu elektřiny (Frybert, 2015)	9
Obr. 2: Podíl jednotlivých odvětví na tvorbě CO ₂	10
Obr. 3 První elektromobil, který překonal hranici 100 km za hodinu	12
Obr. 4 Zastoupení vozidel registrovaných v USA v roce 1900 (Badida, 2007)	13
Obr. 5: Křižíkův elektromobil	14
Obr. 6: Výroba elektřiny podle paliva	16
Obr. 7: Výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů	16
Obr. 8: Blokové schéma pro pohon předních kol (Frybert 2015)	19
Obr. 9: Blokové schéma rekuperace (Frybert, 2015)	19
Obr. 10: Elektromotor zabudovaný v kole	21
Obr. 11: Mapa všech dobíjecích stanic na území České republiky k 31. 3. 2016	24
Obr. 12: Palivový mix ČEZ, a. s. v roce 2015	25
Obr. 13: První dobíjecí stanice v České republice	26
Obr. 14: Podíl zdrojů elektřiny v rámci PRE v roce 2015	27
Obr. 15: Schéma výměny baterie	28
Obr. 16: Peugeot iOn	32
Obr. 17: Citroën C-Zero	33
Obr. 18: Volkswagen e-up!	34
Obr. 19: Nissan Leaf	35
Obr. 20: Kia Soul	36
Obr. 21: Volkswagen e-Golf	37
Obr. 22: BMW i3	38
Obr. 23: Závislost dojezdu na poměru kapacity baterií a hmotnosti	41
Obr. 24: Závislost zrychlení na poměru výkonu a hmotnosti	42
Obr. 25: Závislost ceny na dojezdu	43
Obr. 26: Závislost doby dobíjení na kapacitě baterií	44

Seznam tabulek

Tab. 1: Přehled parametrů jednotlivých typů baterií.....	23
Tab. 2: Technické parametry Peugeot iOn	32
Tab. 3: Technické parametry Citroën C-Zero	33
Tab. 4: Technické parametry Volkswagen e-up!.....	34
Tab. 5: Technické parametry Nissan Leaf.....	35
Tab. 6: Technické parametry Kia Soul.....	36
Tab. 7: Technické parametry Volkswagen e-Golf	37
Tab. 8: Technické parametry BMW i3.....	38
Tab. 9: Vybrané technické parametry	39
Tab. 10: Výpočet hodnot pro jednotlivé parametry	40
Tab. 11: Ohodnocení parametrů metodou váženého součtu	40
Tab. 12: Vybrané technické parametry	41
Tab. 13: Vybrané technické parametry	42
Tab. 14: Vybrané technické parametry	43
Tab. 15: Vybrané technické parametry	44