

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektromobilita a její společensko-ekonomické dopady

Electromobility and its socio-economic impacts

AUTOR: Jelínek Matěj

STUDIJNÍ PROGRAM: Teoretický základ strojního inženýrství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Žilka Miroslav, Ph.D.

PRAHA 2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jelínek** Jméno: **Matěj** Osobní číslo: **459872**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Elektromobilita a její společensko-ekonomické dopady

Název bakalářské práce anglicky:

Electromobility and its socio-economic impacts

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod, cíle a úkoly práce
2. Popis technického řešení elektromobility, jejich klíčových prvků
3. Analýza trhu elektromobilů
4. Pozitiva, negativa, bariery rozvoje technologického trendu
5. Závěr

Seznam doporučené literatury:

1. LARMINIE, James a John LOWRY. Electric vehicle technology explained. 2nd ed. Chichester, c2012. ISBN 978-111-9942-733.
2. HOYER, Karl Georg. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. Utilities Policy. 2008, vol. 16, no. 2, s. 63-71. ISSN 0957-1787.
3. HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Miroslav Žilka, Ph.D., ústav řízení a ekonomiky podniku FS

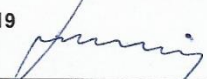
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **10.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **03.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **28.02.2019**


Ing. Miroslav Žilka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

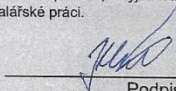

prof. Ing. František Freiberg, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

30.4. 2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....
Podpis

Anotace

Tato bakalářská práce je zaměřena na současný stav elektromobilů. Předmětem práce je popis technického řešení elektromobilů a analýza jejich trhu. V práci jsou rozebrány bariéry rozvoje i způsoby podpory tohoto trendu. Dále je provedeno zhodnocení pozitiv a negativ elektromobilů v České republice pomocí SWOT analýzy. V poslední kapitole je zhodnocena ekonomická stránka užívání elektromobilu v porovnání s klasickými benzínovými vozidly pomocí metody TCO.

Klíčová slova

Elektromobily, elektrická vozidla, současný stav, baterie, dobíjecí stanice, trh elektromobilů, bariéry rozvoje, formy podpor, pozitiva a negativa elektromobilů, SWOT analýza, metoda TCO vozidel

Annotation

The focus of this bachelor thesis is the current state of the battery electric vehicles. The subject of this thesis is the description of technical solution of BEVs and the analysis of its market. Barriers to BEVs deployment and options to support BEVs are the next parts of this thesis. The pros and cons of the battery electric vehicles in the Czech Republic are evaluated by using SWOT analysis in the next chapter. There is an evaluation using TCO method of the economical aspect of using BEV compared to ICE gasoline vehicles in the last chapter.

Keywords

Battery electric vehicles, electric vehicles, current state, batteries, charging stations, EV market, barriers to deployment, options to support BEVs, pros and cons of BEVs, SWOT analysis, Total cost of ownership of vehicles

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Žilkovi, Ph.D., za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Obsah

Úvod.....	9
1 Elektromobilita a její technická řešení.....	11
1.1 Vymezení pojmu.....	11
1.1.1 Elektromobil a rozdělení EV	11
1.1.2 Ostatní typy elektrických vozidel	12
1.2 Historie.....	15
1.2.1 Počátky rozvoje.....	16
1.2.2 Zlaté období	16
1.2.3 Úpadek elektromobilů.....	17
1.2.4 Moderní rozvoj	18
1.3 Princip fungování elektromobilu.....	20
1.3.1 Pohonná soustava.....	20
1.3.2 Elektromotor	23
1.3.3 Celková energetická účinnost	24
1.4 Baterie	24
1.4.1 Důležité parametry baterií	26
1.4.2 Olověné baterie	29
1.4.3 Nikl-kadmiové baterie	29
1.4.4 Nikl-metalhydridové baterie	30
1.4.5 Lithium-iontové baterie	31
1.4.6 Budoucí rozvoj baterií	32
1.5 Dobíjení elektromobilu	33
1.5.1 Konektory pro dobíjení	34
1.5.2 Infrastruktura dobíjecích stanic	34
1.5.3 Neveřejné dobíjení.....	35
1.5.4 Doba dobití elektromobilu	36

1.5.5	Náklady na dobíjení	37
1.5.6	Nové technologie dobíjení	38
2	Trh elektromobilů	40
2.1	Bariéry rozvoje.....	40
2.1.1	Problematika baterií	40
2.1.2	Problematika dobíjení a dobíjecí infrastruktury	42
2.1.3	Problematika emisí a energetického mixu	44
2.1.4	Elektromobilita ve společnosti.....	46
2.2	Opatření vedoucí k rozvoji elektromobility	46
2.2.1	Emisní normy.....	47
2.2.2	Městské emisní zóny.....	47
2.2.3	Statní podpora	48
2.2.4	Ostatní benefity.....	50
2.3	Statistiky prodeje elektromobilů	51
2.3.1	Globální stav trhu pro rok 2016.....	51
2.3.2	Stav evropského trhu pro rok 2017.....	53
2.4	Nabídka elektromobilů.....	54
2.4.1	Nejprodávanější elektromobily.....	54
2.4.2	Srovnání modelů elektromobilů.....	56
2.4.3	Největší společnosti na evropském trhu s EV	56
2.5	Budoucí rozvoj trhu.....	57
3	SWOT analýza elektromobilů pro Českou republiku.....	59
3.1	Silné stránky.....	60
3.2	Slabé stránky	61
3.3	Příležitosti	63
3.4	Hrozby.....	64
4	Ekonomická stránka provozu elektromobilu v ČR.....	65

4.1	Vstupní parametry	65
4.2	Palivové náklady	66
4.3	Provozní náklady.....	67
4.4	TCO náklady vozidel	68
4.5	Elektromobil pro firemní činnost.....	70
	Závěr	73
	Seznam obrázků.....	74
	Seznam tabulek	76
	Seznam příloh	78
	Seznam symbolů a zkratk	79
	Seznam použité literatury	80
	Příloha 1	I
	Příloha 2.....	II
	Příloha 3.....	III

Úvod

Osobní doprava tvoří nedílnou součást současného fungování společnosti. Klasická vozidla se spalovacími motory jsou nejčastěji využívanými dopravními prostředky. Tato vozidla prošla dlouhým historickým vývojem a mají silné postavení ve společnosti. Jsou považována za jeden z nejvýznamnějších moderních vynálezů. Jejich hromadné využívání však přináší podstatná negativa. Největší problém představuje jejich provoz, který produkuje množství škodlivých emisí a tím zhoršuje kvalitu životního prostředí. Dalším problémem je závislost těchto vozidel na fosilních palivech, jejichž zásoby jsou limitovány a může hrozit jejich postupné vyčerpání. Současná společnost si uvědomuje tyto problémy, a proto se snaží hledat vozidla s alternativním pohonem, která by redukovala tato negativa. Oproti minulosti jsou kladeny zvýšené nároky na ekologickou stránku technologií, a nejen na jejich dostupnost a levnou výrobu. S ubýváním zásob fosilních paliv je aktuální otázkou budoucího vývoje dopravy. Tato doprava by měla být nezávislá a šetrná k životnímu prostředí. Elektrická vozidla, a zvláště elektromobily, se jeví jako vhodné řešení. Elektromobily využívají k provozu elektrický pohon, který je bezemisní. Jejich provoz nepředstavuje žádnou přímou zátěž pro životní prostředí. Tento faktor je důležitý hlavně v hustě zabydlených oblastech, kde je znečištění ovzduší obrovským problémem. K pohonu elektromobilu je potřebná pouze elektrická energie, která je snadno dostupná a levnější než pohonné hmoty. Díky využití obnovitelných zdrojů a jádra může být výroba elektřiny nezávislá na fosilních palivech, což je řešením otázky budoucího fungování dopravy. Při výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů je celková provozní emisní zátěž elektromobilů poměrně nízká. Z tohoto pohledu jsou tedy téměř ideálním vozidlem, ale problém představuje ekologická zátěž ve fázi výroby. Elektromobily jsou stále považovány za poměrně nový technologický trend a v současnosti je míra jejich rozšíření relativně nízká. I přes to by podle některých odhadů měly elektromobily nahradit spalovací vozidla a stát se hlavním dopravním prostředkem v několika následujících desítkách let.

Mezi hlavní cíle této bakalářské práce patří:

- popis současného stavu elektromobilů
- analýza trhu elektromobilů
- zhodnocení pozitiv, negativ a postavení tohoto nového trendu v osobní dopravě

Pojem elektromobilita je v této práci vztažen pouze na elektrická osobní vozidla a jejich infrastrukturu. Tato bakalářská práce je zaměřena na elektromobily a jejich současný stav. První část této práce je zaměřena na technická řešení elektromobility. V této kapitole je popsáno rozdělení elektrických vozidel a přiblížena historie elektromobilů. Dále je tato kapitola zaměřena na princip fungování elektromobilů a na jejich klíčové součásti, kterými jsou baterie. V poslední části je rozebrána problematika dobíjení těchto vozidel. Druhá část práce je zaměřena na analýzu trhu elektromobilů, včetně současných bariér rozvoje a podpor tohoto trendu. Ve třetí části je provedena SWOT analýza elektromobilů v ČR, která zhodnocuje pozitiva, negativa a možné budoucí dopady spojené s rozšířením tohoto nového technologického trendu. V poslední části této práce je pomocí modelové situace zhodnocena ekonomická stránka užívání elektromobilu v České republice. Toto zhodnocení je provedeno ve srovnání s klasickými benzínovými vozidly pomocí metody TCO.

Všechny částky uváděny v zahraničních měnách jsou v této práci přepočteny na české koruny dle kurzů v květnu 2018.

1 Elektromobilita a její technická řešení

V této části práce jsou rozebrána technická řešení elektromobility. Tato část je zaměřena na následující témata: rozdělení a typy elektrických vozidel, historie, princip fungování elektromobilů, baterie a dobíjení vozidel.

1.1 Vymezení pojmu

Elektromobily jsou součástí skupiny elektrických vozidel. Tato kapitola řeší problematiku rozdělení této skupiny a obsahuje stručný popis jednotlivých typů elektrických vozidel.

1.1.1 Elektromobil a rozdělení EV

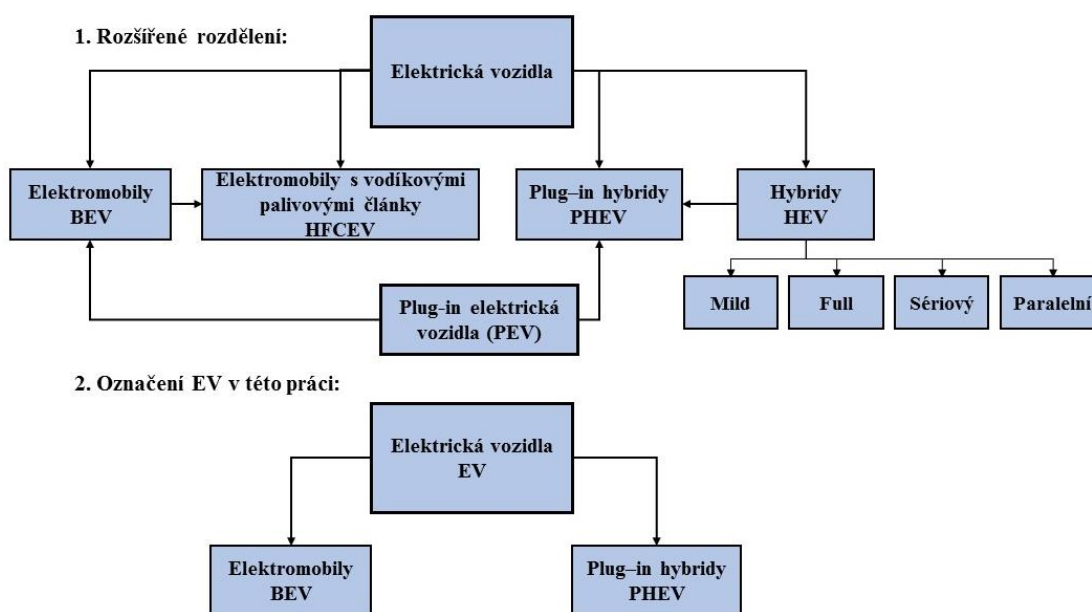
Pojmem elektromobily jsou podle českého názvosloví označována elektrická vozidla na baterie. [1] Jde o elektrická vozidla napájená pouze z baterie ve vozidle, ve kterých není instalován spalovací motor, ale pouze elektromotor, proto také někdy bývají označována jako tzv. čisté elektromobily. Elektromobily jsou označovány zkratkou BEV, která vychází z anglického označení battery electric vehicle. V některých českých publikacích není pojem elektromobil úplně vymezen a bývá označován pojmem elektrické vozidlo. Hlavní úskalí vychází z problematického anglického názvosloví a rozdělení. V angličtině je používáno označení EV, které je překládáno jako vozidla poháněná elektřinou nebo elektrická vozidla. Do této kategorie lze zařadit vozidla využívající pouze elektromotor, ale patří sem také hybridy. Tímto pojmem jsou označována vozidla, která využívají kombinaci elektromotoru a spalovacího motoru. [1] Na obrázku 1 jsou znázorněny dva způsoby dělení elektrických vozidel – rozšířené a standardní.

Rozšířená kategorie elektrických vozidel zahrnuje skupiny: BEV, HEV (hybridy), HFCEV (elektromobily s vodíkovými palivovými články) a PHEV (plug-in hybridy). [2] V některých zdrojích mohou být skupiny HFCEV a PHEV označovány jako podskupiny BEV a HEV. Označování a dělení hybridů je poměrně komplikované, jelikož existuje mnoho druhů těchto vozidel a různé společnosti navíc často využívají svoje vlastní značení.

Standardní dělení nezařazuje všechny typy hybridů mezi elektrická vozidla, ale pouze jejich plug-in variantu. V takovém případě se skupina EV skládá pouze z BEV a PHEV

(elektromobily s palivovými články nejsou v této kategorii zařazeny, díky nízké míře rozšíření). [3] V rámci standartního dělení lze také využívat označení PEV, které označuje elektrická vozidla, jejichž baterie lze dobít přímo z elektrické sítě (BEV a PHEV). [3]

Termínem elektrická vozidla (EV) v této práci jsou označovány elektromobily a plug-in hybridy. Toto značení je shodné s většinou anglických zdrojů, které byly využity v této práci.



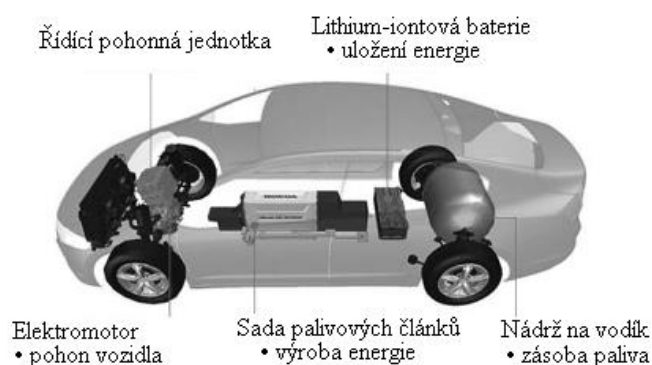
Obrázek 1.: Rozdělení elektrických vozidel, vytvořeno dle [2] [3]

1.1.2 Ostatní typy elektrických vozidel

1.1.2.1 Elektromobily s vodíkovými palivovými články HFCEV

Jedná se o poměrně nový typ vozidel, který je stále hlavně ve fázi intenzivního výzkumu, nicméně na běžném trhu jsou ojedinele dostupné modely těchto vozidel. Podle odhadů by mohlo dojít k rozmachu HFCEV kolem roku 2025. [4] Tato vozidla využívají k pohonu elektromotor stejně jako elektromobily. HFCEV vozidla jsou vybavena vodíkovými palivovými články. Tyto palivové články představují elektrochemické zařízení, které pomocí reakcí kyslíku a vodíku vyrábí elektřinu, kterou je poté poháněn elektromotor. Přeměna vodíku na elektřinu produkuje pouze teplo a vodu jako vedlejší produkty, což znamená že HFCEV při provozu nevytvářejí žádné výfukové plyny. Hlavní výhodou těchto vozů je kombinace ekologické šetrnosti elektromobilů a vysoké dojezdové vzdálenosti, která může být srovnatelná s dojezdovou vzdáleností běžných automobilů. [5] Výroba samotného vodíku může vést k znečištění ovzduší díky vzniku

skleníkových plynů. Ale i při ekologicky nejhorší variantě výroby vodíku, výroby ze zemního plynu, vzniká o 30 % nižší znečištění v porovnání s běžnými automobily. [5] Zlepšení technologie vozidel s palivovými články a využívání obnovitelných zdrojů k výrobě vodíku mohou tyto statistiky ještě několásobně zlepšit. Mezi další výhody HFCEV patří krátká doba tankování vodíku, která je srovnatelná s tankováním paliva u běžných vozidel. Mezi největší překážky HFCEV patří velmi nákladný proces výroby palivových článků a technická i finanční náročnost výstavby vodíkových čerpacích stanic. Při výrobě palivových článků jsou využívány platinové katalyzátory, které jsou velmi nákladné, což způsobuje jejich velmi vysokou pořizovací cenu. [5] V současnosti je v běžném provozu minimální množství HFCEV, a to také díky téměř neexistující síti vodíkových čerpacích stanic. [4] [5]

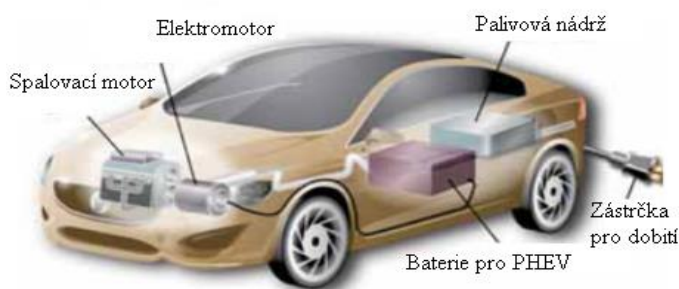


Obrázek 2.: Schéma vnitřního uspořádání HFCEV – Honda FCX Clarity, zdroj [6] (přeloženo)

1.1.2.2 Plug-in hybridy PHEV

Tento typ vozidel může být označován v českých zdrojích pojmem hybrid do zásuvky. Do kategorie EV jsou plug-in hybridy zařazeny díky možnosti dobítí baterie z elektrické sítě stejně jako u elektromobilů. Plug-in hybridy jsou považovány za mezistupeň mezi konvenčními hybridy a elektromobily. Kombinují možnosti spalovacího motoru (benzínového nebo naftového) s elektrickým motorem, který je propojen s baterií. Na rozdíl od konvenčních hybridů, dokáží plug-in hybridy ujet delší vzdálenosti pouze na elektřinu, a to hlavně díky možnosti dobítí baterie z elektrické sítě. Při jízdě na elektřinu neprodukují PHEV žádné výfukové plyny. Díky elektrickému motoru a baterii uvnitř vozidla, jsou plug-in hybridy schopny efektivněji využívat palivo při jízdě se spalovacím motorem. Tato vozidla mají tedy nižší provozní náklady a jsou ekologicky šetrnější než běžné automobily. [7] Na trhu se nachází mnoho typů těchto vozidel, které se liší provedením i funkcí. Většina typů však funguje na dvou-fázovém principu. První fáze je čistě elektrická, při které je všechna energie pro pohon vozidla poskytována

elektromotorem napájeným z baterie. Druhou fází je fáze hybridu, kdy se využívá kombinace elektromotoru a spalovacího motoru. Pořizovací náklady těchto vozidel jsou vyšší než u běžných automobilů. Mnoho automobilových společností nabízí několik populárních modelů klasických vozidel v provedení plug-in. Oproti elektromobilům představují plug-in hybridy větší zátěž pro životní prostředí, ale nejsou tolik limitovány výkonem a dojezdovou vzdáleností. [7] [8]



Obrázek 3.: Zjednodušené schéma PHEV, zdroj [8] (přeloženo)

1.1.2.3 Hybridy HEV

Popularita hybridních vozidel v současnosti poměrně narůstá, a to také díky tomu, že automobilové společnosti nabízí modely svých klasických vozů i v hybridním provedení. Na trhu se vyskytuje několik typů těchto vozidel v mnoha různorodých provedeních. Rozdíly jsou v poměru využití spalovacího motoru a elektromotoru (mild hybrid a full hybrid), nebo ve způsobu jejich zapojení (paralelní hybrid a sériový hybrid). Další dělení hybridů může být provedeno podle typu spalovacího motoru, velikosti baterie apod. Rozdíly mezi jednotlivými druhy HEV mají vliv na spotřebu, dojezdovou vzdálenost, cenu nebo na ekologickou zátěž vozidla. Pořizovací cena hybridů je vyšší než pořizovací cena klasických vozidel, což je způsobeno nižší sériovostí a nákladnější výrobou. [4]



Obrázek 4.: Zjednodušené schéma HEV, zdroj [8] (přeloženo)

1.1.2.3.1 Mild hybrid

Některé zdroje nezařazují tento typ vozidel mezi hybridy. Vozidlo používá k pohonu spalovací motor po celou dobu jízdy. Elektromotor slouží pouze pro podporu spalovacího motoru, nejčastěji při rozjíždění nebo zrychlování. Vozidlo není tedy schopno provozu pouze na elektřinu. Mild hybridy bývají často vybaveny menším a úspornějším spalovacím motorem podporovaným elektromotorem. Toto řešení vede k úspoře spotřeby paliva, ale nejedná se o výrazné snížení. Snížení ekologické zátěže mild hybridů oproti běžným automobilům je také minimální. Pořizovací cena těchto vozidel je nižší oproti ostatním hybridům a je podobná ceně běžných vozidel. Předchůdcem těchto vozidel jsou micro hybridy, což jsou klasická vozidla se systémem start-stop. [1]

1.1.2.3.2 Full hybrid

Tento typ bývá také označován pojmem strong hybrid. Full hybrid již plně využívá možností kombinace spalovacího motoru a elektromotoru. Vozidla obsahují dělič výkonu, díky kterému může vozidlo využívat čistě elektrický nebo kombinovaný pohon. Vozidla jsou vybavena bateriemi o vyšších kapacitách, které zvládnou napájet elektromotor při čistě elektrické jízdě. Řidič si může u většiny typů vozidel zvolit, který druh pohonu bude k jízdě využívat. [1]

1.1.2.3.3 Sériový hybrid

Spalovací motor u tohoto typu neslouží k pohonu vozidla. Vozidlo pohání pouze elektromotor. Spalovací motor pohání generátor proudu, který vytváří střídavý proud sloužící k dobíjení baterie. Toto zapojení prodlužuje dojezdovou vzdálenost vozidla. Sériový hybrid není mezi osobními vozidly příliš rozšířený. [1]

1.1.2.3.4 Paralelní hybrid

U těchto hybridů je spalovací motor propojen převodovkou s elektromotorem. Vozidlo může být poháněné jak pouze elektromotorem, tak také pouze spalovacím motorem. K pohonu lze využívat i kombinaci obou motorů. Nejčastějším režimem je provoz vozidla pomocí spalovacího motoru s asistencí elektromotoru při akceleraci. Paralelní hybridy jsou na trhu velmi rozšířené a velká většina vozidel s označením hybrid funguje v této konfiguraci. [1]

1.2 Historie

Ačkoliv je problematika elektromobilů v současnosti aktuálním tématem, jejich historie sahá až k počátkům 19. století. Na trhu vozidel soupeřily elektromobily během

svého rozvoje s vozidly na parní pohon a vozidly se spalovacími motory. V historickém vývoji si elektromobily získaly svou oblibu díky své konstrukční nenáročnosti a vysoké účinnosti pohonu. Nicméně jejich rozvoj byl velmi limitován rozvojem baterií potřebných k jejich fungování. Rozvoj elektromobilů, stejně jako celkový rozvoj elektrických vozidel, neprobíhal nepřetržitě, ale vždy v určitých intervalech během jejich dlouhé historie. Základní principy fungování elektromobilů vychází již z počátku jejich rozvoje a postupem času byly rozvíjeny a vylepšovány. [9]

1.2.1 Počátky rozvoje

Počátek rozvoje elektromobilů je vázán na objevy spojené s oborem elektřiny. Mezi tyto objevy patří například způsob uložení elektrické energie do článku od A. Volty nebo objasnění spojení magnetismu a elektřiny od M. Faradaye. Tyto poznatky položily základy pro budoucí rozvoj elektrických motorů a generátorů, vedoucí k pozdějšímu rozvoji elektrických vozidel. První experimentální elektrická vozidla se začala objevovat ve Velké Británii a Holandsku v polovině 30. let 19. století. Šlo především o jednoduché vozíky poháněné elektřinou. Stroj od holandské dvojice Stratingh a Becker bývá často považován za jeden z prvních elektrických vozíků. První plnohodnotné elektrické vozidlo bylo představeno Gustavem Trouvém ve Francii v roce 1881. Tento tříkolový vůz využíval ke svému pohonu elektromotor a olověný akumulátor. Rozvoj podobných vozů poháněných elektřinou byl na konci 19. století velmi rozšířený hlavně ve Velké Británii a USA. V roce 1885 představil Karl Benz svůj první benzínový automobil a přivedl na trh konkurenci pro elektromobily – vozidla se spalovacími motory. [9]

První elektromobil na našem území sestavil Ing. František Křížík, který v roce 1896 představil dva typy elektromobilů. První typ byl poháněn stejnosměrným elektromotorem o výkonu 3,6 kW. Druhý typ měl v zadních kolech instalované elektromotory o výkonech 2,2 kW. [10]

1.2.2 Zlaté období

Období mezi lety 1890–1920 lze považovat za tzv. zlaté období elektromobility. V tomto období zaznamenaly elektromobily obrovský rozvoj. Současné typy elektrických vozidel využívají některé poznatky a technologické principy vzniklé v tomto období. Mezi tyto technologie patří například systém rekuperace, představen poprvé v Paříži v roce 1887, nebo možnost hybridního pohonu, kterou představil Ferdinand

Porsche v roce 1900. Obrovský rozvoj elektromobility probíhal v USA, a to hlavně v New Yorku. V roce 1897 byly elektromobily využívány jako městská taxi a následně nastoupily i na spotřebitelský trh. V tomto období se na trhu automobilů nacházely 3 druhy vozidel: parní vozidla, vozidla se spalovacími motory a elektromobily. Mezi roky 1899–1900 v USA elektromobily předčily v prodeji ostatní dva typy. Populární byly díky svému snadnému ovládní, snadnému startování (ke startu nepotřebovaly ruční kliku jako spalovací vozidla) a čistotě provozu. V roce 1899 dokázal elektromobil překonat hranici 100 km/h. Běžně prodávané elektromobily byly v tomto období vzhledem podobné původním koňským kočárům, měly dojezd 18 mil (29 kilometrů) a maximální rychlost 14 mil za hodinu (22,5 km/h). Jejich cena se pohybovala okolo 2 000 dolarů. [8] V New Yorku byl rozvinut v tomto období také systém prvních dobíjecích stanic pro elektromobily, takzvané dobíjecí hydranty. Elektromobily byly dostupné v několika variantách, které se lišily výbavou i specifikací. [8] [9]



Obrázek 5.: Typická podoba elektromobilu z roku 1902, zdroj [8]

Největšího maxima prodeje dosáhly elektromobily v roce 1912, kdy jich bylo na americkém trhu okolo 30 000. V období mezi lety 1915–1918 Spojené státy zajišťovaly také export elektromobilů do ostatních zemí, například Japonska, Norska, Švédska apod. [9]

1.2.3 Úpadek elektromobilů

Úspěch na trhu zaznamenávaly elektromobily až do roku 1920. Po tomto roce však začal zájem o elektromobily klesat. Níže jsou uvedeny hlavní důvody postupného úpadku elektromobilů:

- V roce 1908 byl představen Ford Model T. Toto vozidlo se spalovacím motorem v roce 1909 ovládlo americký trh automobilů. Díky masové výrobě byl tento model cenově dostupný, jeho pořizovací cena byla 500 až 1 000 dolarů. Naopak cena elektromobilů neustále rostla. Zatímco průměrná cena elektromobilu na

americkém trhu v roce 1912 byla 1 750 dolarů, průměrné vozidlo se spalovacím motorem stálo 650 dolarů. [8]

- V roce 1912 vynalezl Charles Kettering elektrický startér, který eliminoval nutnost využití ruční kliky pro nastartování vozidel se spalovacím motorem.
- Objevení zdrojů ropy v Texasu velmi snížilo ceny pohonných hmot.
- No konci 20. let 20. století měly Spojené státy americké dobře rozvinutou infrastrukturu mezi jednotlivými městy a na trhu převládala potřeba vozidel s dojezdem na dlouhé vzdálenosti. Elektromobily byly vhodné pro městský provoz a jejich používání bylo vázáno na dobíjecí stanice umístěné pouze ve městech.
- Vozidla se spalovacími motory zaznamenala obrovský technologický rozvoj, který byl také ovlivněn dvěma světovými válkami. Na tento průběh nedokázal vývoj elektromobilů, a to hlavně v rozvoji baterií a efektivnosti výroby, dostatečně navázat.

[8] [9]

Mezi lety 1935–1960 byl rozvoj v oblasti elektromobility téměř zastaven. Elektromobily se využívaly vzácně jako prostředky pro městské a průmyslové zásobování, čištění městských ulic apod. Některé automobilové společnosti sice představily své prototypy, ale na jejich vývoj bylo navázáno až později. [9]

1.2.4 Moderní rozvoj

V 60. a 70. letech 20. století došlo k oživení rozvoje elektromobility. Společnost začala řešit problémy světové energetiky a znečištění planety. V tomto období probíhaly celosvětové debaty, které probíraly problematiku znečištěného ovzduší ve velkých městech (způsobené hlavně průmyslem a vozidly se spalovacími motory), otázku vyčerpání fosilních paliv a možnosti rozvoje alternativních zdrojů energie. Rozvoj elektromobilů a elektrických vozidel byl podpořen také několika ropnými krizemi. V těchto letech bylo cílem mnoha automobilových společností vyvinout praktický elektromobil využitelný v běžném provozu, tento cíl je však stále aktuální i v současnosti. Britské zastoupení společnosti Ford představilo v roce 1966 prototyp městského elektromobilu Comuta. Tento prototyp nakonec nebyl uveden na spotřebitelský trh, ale položil základy novodobé podobě elektromobilů. [9]

V období 70. až 90. let 20. století začaly s rozvojem elektrických vozidel další automobilové společnosti vyrábějící klasická vozidla. Automobilky Citroen a Peugeot se v roce 1974 spojily do koncernu PSA a vytvořily divizi PSA Electrique, která byla zaměřena na výrobu elektromobilů. Tato divize přivedla na trh v roce 1987 dva úspěšné modely elektromobilů: C15 Electrique a C25 Electrique. V následujících letech začala produkovat automobilka PSA elektromobily ve velkosériové výrobě, která trvala až do roku 2000. Mezi další automobilové společnosti zastoupené na trhu elektromobilů v tomto období patřily například společnosti Fiat a Renault. [10]

V 90. letech 20. století bylo téma elektromobilů ve společnosti velice populární, a to hlavně díky obnově diskuzí ohledně životního prostředí. Téměř každá větší automobilová společnost měla ve své nabídce minimálně jeden vůz s elektrickým pohonem a investovala finance do rozvoje výzkumu baterií. V Norsku, v zemi bez výraznější tradice automobilového průmyslu, dokonce vznikla nová automobilová společnost pro výrobu elektromobilů. Na trh vstoupila s vozidlem Think. Tuto společnost později zakoupila společnost Ford a po nějaké době produkci elektromobilů ukončila. [9] V roce 1990 byl Kalifornii spuštěn projekt Zero-emissions vehicle. Tento projekt byl závazný pro všechny velké automobilové společnosti v USA (jednalo se o společnosti GM, Ford a Chrysler), ale zapojily se do něj také společnosti Honda a Toyota. Hlavním cílem projektu bylo zavedení elektromobilů na americký trh (do roku 1998 měly z celkového počtu prodaných vozidel tvořit 2 % elektromobily a do roku 2003 měly elektromobily tvořit 10 %) a seznámení americké společnosti s vozidly s alternativními pohony. Projekt byl v roce 2003 zrušen kvůli legislativním problémům a vysoké finanční náročnosti výroby baterií. [10] V rámci tohoto projektu vznikl úspěšný elektromobil GM EV1, který svými parametry dokázal konkurovat klasickým vozidlům na trhu. Elektromobil GM EV1 od společnosti General Motors, jehož sériová výroba začala v roce 1996, byl svou konstrukcí zcela novým typem elektromobilu. Pořizovací cena GM EV1 byla velmi vysoká (33 995 dolarů), a proto byl poskytován formou leasingu na 3 roky. Po ukončení projektu Zero-emissions vehicle byl přerušen prodej a většina vyrobených vozidel byla sešrotována. Bylo zachováno pouze několik kusů, které dnes slouží jako muzejní exponáty. [10]



Obrázek 6.: GM EV1, zdroj [8]

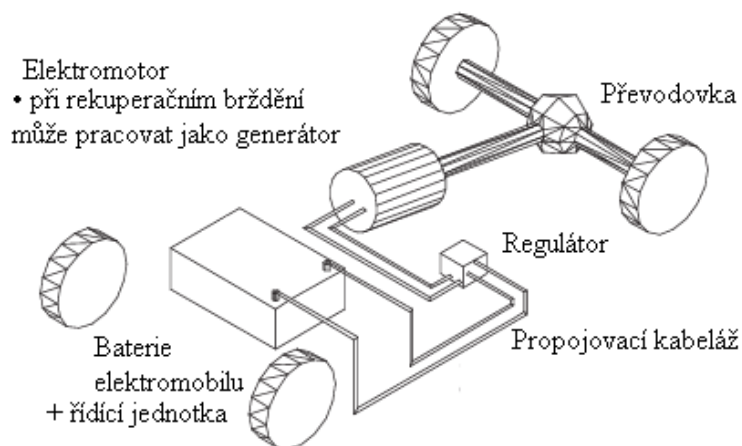
Po roce 2000 se vývoj elektromobilů a elektrických vozidel opět zpomalil. Díky ekonomické i technické náročnosti některé automobilky odstoupily od rozvoje elektromobility a začaly se znovu soustředit pouze na spalovací motory. Oproti tomu jiné automobilové společnosti (například Mitsubishi, Toyota) nezanechaly výzkumu a představily nové technologické možnosti v této oblasti, na které navazuje současný rozvoj. [9] [10]

1.3 Princip fungování elektromobilu

Tato kapitola pojednává o základním technickém principu elektromobilů a jeho rozdílu oproti klasickým vozidlům

1.3.1 Pohonná soustava

Vnitřní uspořádání pohonné soustavy elektromobilu je oproti vozidlům se spalovacím motorem jednodušší. Je složeno z hlavních 3 částí: elektromotoru, regulátoru a baterie. Zbylé části elektromobilů jsou podobné vozidlům se spalovacím motorem. Podobný je také interiér a exteriér vozidel. Viditelný rozdíl tvoří absence výfukové soustavy a palivové nádrže. Ostatní systémy fungují totožně jako u běžných vozidel (brzdy, převodovka, airbagy, klimatizace apod.). Výrobci jsou při návrhu podoby elektromobilů (oproti běžným vozidlům) limitováni pouze velkými rozměry baterií. [6] [11]



Obrázek 7.: Zjednodušené schéma vnitřního uspořádání elektromobilu, zdroj [6] (přeloženo, upraveno)

Baterie slouží jako zásobník energie pro hnací soustavu. Dobijí se přímo z elektrické sítě. Součástí baterie je její řídicí jednotka a dobíjecí jednotka, tzv. palubní nabíječka. Baterie neslouží pouze k pohonu vozidla, ale je využívána také pro funkci stěračů, světel a u některých modelů také k vytápění a klimatizaci. Toto sekundární využití často vede k rychlejšímu vybíjení baterie a zkrácení dojezdové vzdálenosti vozidla. [6] [11]

Regulátor zajišťuje dodání elektrického proudu z baterie do elektromotoru a reguluje rychlost a zrychlení vozidla. V některých vozidlech jsou regulátory doplněny o měnič, který přeměňuje stejnosměrný proud z baterie na střídavý (záleží na typu elektromotoru). Konfigurace regulátoru je úzce svázána s typem elektromotoru. Regulátorem je ve většině elektromobilů elektronická součást řízená procesorem. Mezi pedálem rychlosti a regulátorem je nainstalováno mnoho potenciometrů, které dodávají regulátoru informace o potřebném množství proudu dodávaného do elektromotoru – když není pedál rychlosti zatížen, regulátor nedodává do elektromotoru žádný proud. Elektromotor poté přeměňuje elektrickou energii na mechanickou energii, která zajišťuje pohyb vozidla. [11]

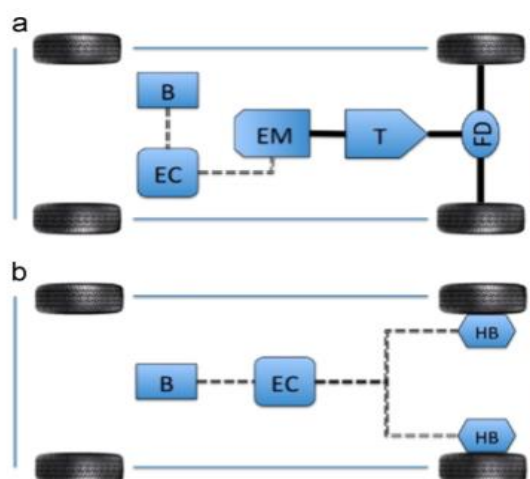
K úspoře energie využívají elektromobily klidový systém, který vypne motor při zastavení, a princip rekuperačního brždění. Při pohybu elektromobilu, lze při brždění využít hybnost generovanou elektromotorem k dobíjení baterie. Elektromotor při brždění může pracovat jako generátor. Rekuperační brždění může pokrýt až 15 % využití energie k pohonu vozidla. Přestože je rekuperace poměrně efektivní, nelze ji využívat k úplnému nabíjení baterie. [11]

V tabulce 1 jsou shrnuty pozitiva a negativa technického řešení elektromobilů oproti vozidlům se spalovacími motory.

Technické řešení elektromobilů	
Pozitiva	Negativa
Provoz s nulovými emisemi	Menší dojezdová vzdálenost
Vysoká účinnost pohonu	Nižší výkon
Využití rekuperace energie	Nákladná výroba baterií
Jednodušší uspořádání pohonu (nižší poruchovost)	Instalace baterií (kabeláž + bezpečnost)
Nižší provozní náklady (údržba + elektřina)	Doba dobíjení
Plynulé zrychlení a chod vozidla	Vyšší hmotnost
Tichý provoz při nižších rychlostech (do 50 km/h)	Příliš tichý provoz, který může být nebezpečný pro ostatní účastníky provozu (povinná instalace akustického varovného systému do elektromobilů od roku 2019)

Tabulka 1.: Pozitiva a negativa technického řešení elektromobilů ve srovnání s vozidly se spalovacími motory, zpracováno dle [1] [12] [13]

Nejčastější typy rozložení pohonu současných elektromobilů jsou naznačeny na obrázku 8. Prvním případem je přední nebo zadní pohon s centrálním elektromotorem. Uspořádání je stejné jako u klasických vozidel, ale spalovací motor je nahrazen elektromotorem. Výkon z elektromotoru je na kola přiváděn pomocí převodovky a diferenciálu. Výhodou tohoto uspořádání je podobnost vnitřní konstrukce s klasickými vozidly, naopak nevýhodou je snížení účinnosti pohonu díky mechanickým částem. Sportovní elektromobily, které mají vyšší výkon a lepší jízdní vlastnosti, využívají více elektromotorů a pohon na všechny kola. Druhým případem je pohon pomocí elektromotorů umístěných přímo v kolech. Kvůli absenci převodovky je toto řešení vhodné pro menší elektromobily. [12]



Obrázek 8.: Uspořádání hnacího ústrojí elektromobilů, zdroj [12]

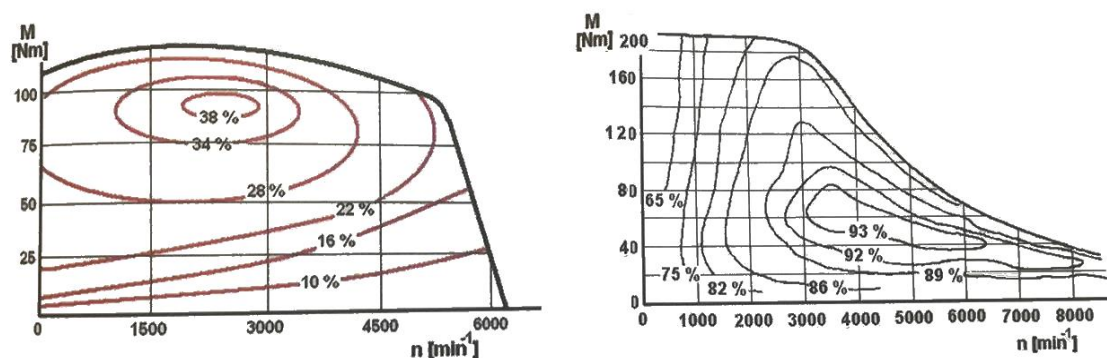
Poznámky k obrázku: a) přední/ zadní pohon; b) pohon v nábojích kol. B – baterie, EC – regulátor a řídicí jednotka baterií, EM – elektromotor, T – převodovka, FD – diferenciál, HB – elektromotor v náboji kola (hub motor)

1.3.2 Elektromotor

Současné elektromobily využívají velké množství druhů elektromotorů, které splňují následující důležité parametry:

- spolehlivá konstrukce
- dostatečný výkon ve velkém rozsahu otáček
- kompaktní stavba a malá hmotnost
- vysoká účinnost
- nízká hladina hluku
- nízké udržovací náklady
- nízká pořizovací cena

Hlavní výhodou elektromotorů oproti běžným spalovacím motorům je jejich účinnost. Zatímco spalovací motory pracují s maximální účinností v rozmezí 30 % až 40 %, které je dosaženo pouze při optimálních pracovních podmínkách motoru a jejich účinnost v městském provozu tedy dosahuje kolem 10 %, současné elektromotory pracují s účinností kolem 90 % a to i ve velkém rozsahu otáček a zatížení. [1]



Obrázek 9.: Pole účinnosti spalovacího motoru (vlevo) a elektromotoru (vpravo), zdroj [1]

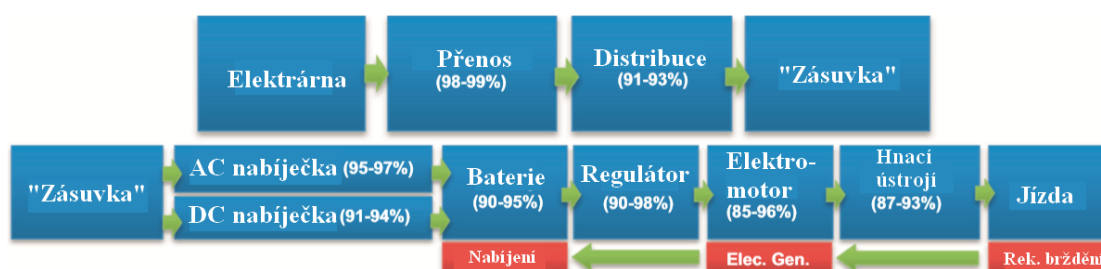
Základní konstrukci elektromotoru tvoří stator a rotor. Motory lze dělit na stejnosměrné (DC proud) a střídavé (AC proud). Další dělení vychází z vnitřní konstrukce elektromotoru (synchronní nebo asynchronní, cizí nebo vlastní buzení, kartáčový nebo bez kartáčů apod.). Mezi současné nejvyužívanější elektromotory v elektromobilech patří stejnosměrné motory s cizím buzením a asynchronní motory. V tabulce 2 je přibližné porovnání využívaných elektromotorů. Splnění daných parametrů je označeno stupnicí 1 až 10, kde ohodnocení číslem 10 značí nejlepší splnění dané vlastnosti. [1]

druh motoru	cena	účinnost	hmotnost	rozsah	přetížitelnost	spolehlivost	stav vývoje
stejnoseměrný	10	7	6	10	10	7	10
asynchronní	8	8	6	9	10	9	9
synchronní	8	10	7	10	10	9	8
transversální	7	10	8	8	10	10	7
řízený reluktanční	9	6	7	4	10	9	5
stejnoseměrný bez kartáčů	8	10	10	8	9	10	8

Tabulka 2.: Přibližné porovnání různých koncepcí elektromotorů, zdroj [1]

1.3.3 Celková energetická účinnost

Na obrázku 10 je zobrazena celková cesta elektrické energie. Tímto pojmem je označován průchod elektřiny z elektrárny až k jejímu využití pro jízdu vozidla. Součásti na této cestě pracují s různou účinností a dochází zde k energetickým ztrátám. V celkovém zhodnocení energetické náročnosti provozu vozidla by bylo nutné započítat ztráty s účinností baterie dvakrát (pro nabíjení a vybíjení) a také počítat s úsporou energie díky rekuperačnímu brzdění. Přibližná účinnost přenosu elektřiny z elektrárny do nabití baterie (WTT) je 76,2 % až 84,8 % pro běžné AC dobíjení a 73 % až 82,2 % pro rychlé DC dobíjení. Účinnost přenosu elektřiny z baterie k pohonu (TTW) vozidla je 59,9 % až 83,1 %. [14]



Obrázek 10.: Energetická cesta pro elektromobil s účinností jednotlivých součástí, zdroj [14] (přeloženo)

1.4 Baterie

V názvosloví elektromobilů je pojem baterie označována soustava několika stovek až tisíců vzájemně propojených akumulátorových článků. Články jsou zapojeny do jednotlivých sad, které jsou složeny a propojeny tak, aby splňovaly výsledné parametry baterie. Baterie elektromobilu je tedy trakční akumulátor, který je přizpůsoben častému a opakovanému nabíjení, resp. vybíjení. (Pojmy vycházejí z anglického označení battery, battery pack a battery cell.) [6]

Baterie jsou klíčovými prvky elektromobilů. Jsou jejich nejrozměrnější, nejdražší a nejdůležitější součástí. Mezi rozhodující parametry baterií patří:

- způsob akumulace elektrické energie a její rychlost
- kapacita
- energetická efektivnost
- provozní napětí a teploty
- počet cyklů
- velikost a hmotnost

Všechny tyto faktory mají vliv na jízdní vlastnosti elektromobilů, hlavně na výkon a dojezdovou vzdálenost. Kvalita těchto faktorů určuje využití elektromobilů pro běžný provoz. Klíčové parametry baterií budou dále probrány v kapitole 1.4.1. [6]

K provozu baterie jsou nutné další součásti, které zvyšují celkovou hmotnost baterií až o 30 %. Jde o různou kabeláž, chlazení, nosníky a také balancery. Tyto prvky jsou souhrnně označovány jako systém řízení baterie (BMS – battery management system). [14] BMS představuje klíčový prvek při provozu baterie a má dvě hlavní funkce. První funkcí je snímání baterie a dodávání informací o jejím stavu uživateli. Druhou funkcí BMS je provoz baterie v efektivním a bezpečném stavu. Balancery, které obsahuje každý článek, řídí vstup a výstup elektrického proudu do baterie a regulují ho mezi jednotlivé články. Tím eliminují rozdíly v kapacitě článků a brání přebíjení. Také zajišťují ochranu článků vůči úplnému vybití a následnému poškození. I v případě, že elektromobil ukazuje nulový dojezd a vybitou baterii, balancery udržují v baterii nějaké množství energie (mezi 5 % až 20 % z celkového množství) pro její ochranu. Zlepšení BMS bude mít za následek efektivnější využití baterií a také prodloužení jejich životnosti, což povede ke zlepšení celkových vlastností elektromobilů. [14] [15]

Baterie elektromobilů jsou velmi rozměrné a jejich hmotnost dosahuje několika stovek kilogramů. Tento problém je promítnut v návrhu a konstrukci vozidel. U moderních elektromobilů je nejefektivnějším řešením umístění baterie do podvozku vozidla. Umístění těžké baterie ve spodní části vozidla vede ke snížení jeho těžiště a zlepšení jeho ovladatelnosti. Toto řešení je také efektivní z hlediska využití prostoru ve vozidle. [1] [6]



Obrázek 11.: Podvozek elektromobilu Tesla model S s lithium iontovou baterií, zdroj [16]

Články v baterii přeměňují chemickou energii na elektrickou energii. Jsou složeny z kladné (anoda) a záporné (katoda) elektrody, které jsou ponořeny v elektrolytu. Chemické reakce, založené na rozdílu potenciálu mezi elektrodami a elektrolytem, generují stejnosměrný proud, který je dodáván přes regulátor do elektromotoru. Jelikož se jedná o sekundární články, připojením elektrického proudu je chemický proces obrácen a články jsou dobíjeny. Existuje poměrně velké množství materiálů, jejichž kombinací lze docílit chemických reakcí mezi elektrodami a elektrolytem, ale pouze malé množství z nich je považováno za efektivní průmyslové řešení a je vhodné pro konstrukci různých typů baterií. [6]

1.4.1 Důležité parametry baterií

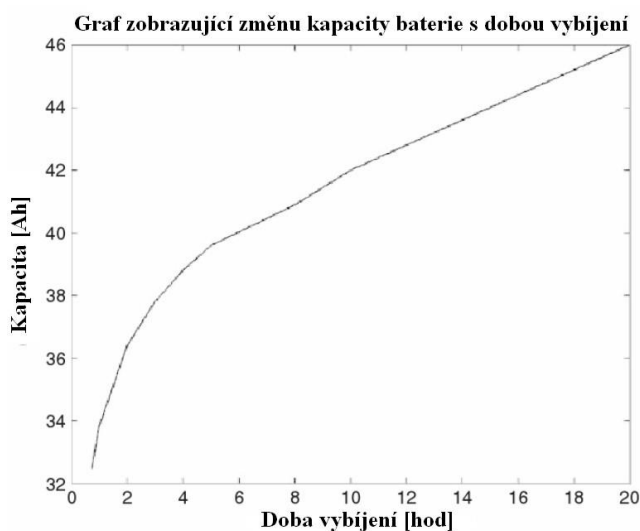
1.4.1.1 Množství akumulované energie

Tento údaj pojednává o množství energie uložené v akumulátoru. Základní jednotkou energie v soustavě SI je J (joule), ale tato jednotka je pro tyto účely příliš malá. Je nahrazena jednotkou Wh (watthodina), která vyjadřuje práci vykonávanou s příkonem 1 W (watt) po dobu 1 hodiny. 1 Wh je ekvivalentem pro 3600 J. Množství akumulované energie může být v literatuře zjednodušeně uváděno jako kapacita baterie. Orientační velikost akumulované energie lze získat z níže uvedeného vztahu. [6]

$$\text{Akumulovaná energie [Wh]} = \text{napětí [V]} \times \text{kapacita [Ah]}$$

1.4.1.2 Kapacita baterie

Udává velikost elektrického náboje, kterou baterie pojme a následně je schopna dodat. Základní jednotkou soustavy SI náboje je C (coulomb), který označuje elektrický náboj přenesený elektrickým proudem 1 A (ampér) za sekundu. Tato jednotka je pro tyto účely příliš malá. Proto je kapacita baterie udávána v Ah (ampérhodina), což je elektrický náboj přenesený elektrickým proudem 1 A za hodinu. Udávaná kapacita baterie je pouze teoretická hodnota. Skutečná hodnota kapacity závisí na době odběru proudu (době vybíjení), příklad této závislosti pro olovenou baterii s kapacitou 42 Ah je na obrázku 12. Pro baterie elektromobilů je nejčastěji nominální hodnota kapacity udávána pro pětihodinové vybíjení. [6]



Obrázek 12.: Graf zobrazující závislost kapacity na době vybíjení pro olovenou baterii s nominální kapacitou 42 Ah, zdroj [6] (přeloženo)

1.4.1.3 Napětí baterie

Každý jednotlivý článek baterie má své nominální napětí. Hodnoty napětí jsou nejčastěji 1 až 4 V. Propojením těchto článků je dosaženo požadovaného celkového napětí baterie. [6]

1.4.1.4 Energetická hustota baterie

Neboli specifická energie baterie je množství energie v baterii na kilogram její hmotnosti. Nejčastěji je udávána ve Wh/kg (watthodina na kilogram), ale může být také udávána ve Wh/l (watthodina na litr). Tato veličina určuje dojezd elektromobilů. V souvislosti s palivy je používána veličina výhřevnost. Tyto veličiny jsou využívány ke srovnání vlastností paliv spalovacích motorů a baterií v elektromobilech. [6]

1.4.1.5 Výkonová hustota baterie

Tato veličina popisuje množství výkonu dodané baterií na kilogram její hmotnosti. Nejčastěji je udávána ve W/kg (watt na kilogram). Tato veličina určuje maximální rychlost a zrychlení vozidla. Ve specifikacích baterií je uváděna maximální hodnota této veličiny, ale baterie pracuje v těchto vysokých hodnotách jen v krátkých intervalech, protože zde dochází k rychlému vybíjení a provoz je neefektivní. [6]

Energetická hustota a výkonová hustota jsou velmi důležité parametry, které spolu úzce souvisí a přinášejí obecný přehled o využití daného typu baterie. Baterie, které mají vysokou energetickou hustotu, ale nízkou výkonovou hustotu, v sobě dokáží naakumulovat velké množství energie, ale dodávají ji velice pomalu. Pro elektromobil to znamená, že je schopný urazit dlouhou vzdálenost, ale pouze nízkou rychlostí s malou akcelerací. Ke srovnání různých baterií pomocí těchto veličin se využívá Ragonův graf. [6]

1.4.1.6 Životnost baterie a počet cyklů

Jelikož chemické procesy při nabíjení a vybíjení baterií neprobíhají dokonale, dochází při nich k porušování vnitřní stavby baterie a tím ke zkracování její životnosti. Životnost je nejčastěji udávána pomocí počtu cyklů baterie (nabití a vybití). [6]

1.4.1.7 Teplota baterie

Většina baterií pracuje při teplotách okolí. Existují však typy baterií, které pracují při vysokých teplotách a ke svému startu potřebují ohřev. Baterie se při své funkci zahřívají, proto musí být chlazeny a udržovány na pracovní teplotě. Při nízkých teplotách by mohly baterie přestat fungovat, a proto jsou v některých případech i ohřívány. Výrazné změny teplot baterií, podchlazení či přehřátí, snižují jejich kapacitu. Pro regulaci baterií v elektromobilech je u některých typů využíváno pouze přirozené chlazení vzduchem, jiné jsou doplněny regulačním obvodem. [6] [15]

1.4.1.8 Energetická účinnost

Energetická účinnost určuje poměr energie odevzdané baterií při vybíjení ku energii dodané do baterie během nabíjení. Velmi závisí na způsobu a rychlosti nabíjení, resp. vybíjení. [6]

1.4.1.9 Míra samovolného vybíjení

Většina baterií se při svojí nečinnosti začne pomalu sama vybíjet, proto by tyto baterie neměly být nechávány dlouho dobu bez nabití. Doporučené je nabíjení v pravidelných intervalech. Míra samovolného vybíjení je ovlivněna hlavně typem baterie, ale také vnějšími faktory, z nichž nejvýznamnějším je teplota (s rostoucí teplotou se vybíjí rychleji). [6] [15]

1.4.2 Olověné baterie

Jde o nejstarší typ baterie, od jejího využití je dnes ustupováno. Mezi nové modifikace těchto baterií, které mají zlepšené vlastnosti a vyšší využitelnost, patří olovo-gelové a spirálové olověné baterie. Ze současných typů baterií jsou olověné baterie z hlediska využití v elektromobilech nejhorší. Baterie jsou velmi rozměrné a reálný dojezd elektromobilu s olověnou baterií se pohybuje pouze okolo 50 km. Při nízkých teplotách je navíc výrazně omezena jejich funkčnost. Recyklace těchto baterií dříve představovala velkou ekologickou zátěž, tento problém byl však vyřešen pomocí pecí na recyklované olovo. Hlavní přednosti tvoří nízká cena a méně nákladná technologie výroby. [1] [15]

V olověných bateriích je elektrolytem zředěná kyselina sírová, katodu tvoří čisté olovo a anodu oxid olovičitý. Parametry běžných olověných baterií využívaných v elektromobilech jsou uvedeny pro příklad v tabulce 3. [1]

Energetická hustota [Wh/kg]	20-40
Výkonová hustota [W/kg]	250
Napětí na článku [V]	2
Provozní teplota	-15°C až 45°C
Samovolné vybíjení	2 % za den
Životnost	až 800 cyklů

Tabulka 3.: Parametry olověných baterií v elektromobilech, zpracováno dle [6] [12]

1.4.3 Nikl-kadmiové baterie

Tento typ baterií měl pro rozvoj elektromobilů velký význam. Byly to baterie, které již byly schopné poskytnout parametry pro plnohodnotný provoz vozidel. Nikl-kadmiové baterie vynikají vysokou životností, delším dojezdem (až 100 km), velkým rozsahem provozní teploty a nízkou hmotností. Mezi jejich nevýhody patří vysoké výrobní náklady a velká ekologická zátěž, související s likvidací toxického kadmia. Nikl-kadmiové baterie navíc trpí tzv. paměťovým efektem, jehož následkem je postupné snižování kapacity

baterií při neúplném vybíjení a nabíjení. Tyto aspekty vedou k postupnému omezování jejich využívání. [1] [6]

U nikl-kadmiových baterií je elektrolytem hydroxid draselný. Katodu tvoří kovové kadmium a anodu nikloxid (hydroxid niklu). Elektrody jsou složeny z vláken. V tabulce 4 jsou pro příklad uvedeny parametry běžných nikl-kadmiových baterií využívaných v elektromobilech. [1]

Energetická hustota [Wh/kg]	40-55
Výkonová hustota [W/kg]	125
Napětí na článku [V]	1,2
Provozní teplota	-40°C až 80°C
Samovolné vybíjení	0,5 % za den
Životnost	1350 cyklů

Tabulka 4.: Parametry nikl-kadmiových baterií v elektromobilech, zpracováno dle [6] [12]

1.4.4 Nikl-metalhydridové baterie

Nikl-metalhydridové baterie jsou poměrně rozšířené v elektrických vozidlech. Velmi se podobají nikl-kadmiovým bateriím, ale díky absenci toxického kadmia jsou ekologicky mnohem šetrnější. Oproti nikl-kadmiovým bateriím dosahují lepších vlastností (větší energetická hustota i výkon) a lze je dobít rychleji. Na druhou stranu nikl-metalhydridové baterie nevydrží takový počet cyklů, mají vysokou míru samovybíjení a jejich životnost je nižší. [6]

V současné době jsou jejich ceny srovnatelné s nikl-kadmiovými bateriemi, nebo dokonce i nižší. Výzkum v oblasti tohoto typu baterií neustále probíhá a daří se dosahovat stále lepších výsledků. Největší uplatnění v současné době našel tento druh baterií v hybridech a plug-in hybridech. [6] [15]

Elektrolyt je tvořen zředěným roztokem hydroxidu, anodu tvoří sloučeniny na bázi niklu a katodu slitiny pohlcující vodík (nejčastěji titan, vanad nebo lanthanoidy). Parametry běžných nikl-metalhydridových baterií v elektromobilech jsou pro příklad uvedeny v tabulce 5. [6] [15]

Energetická hustota [Wh/kg]	60-80
Výkonová hustota [W/kg]	250-1000
Napětí na článku [V]	1,2
Provozní teplota	-40°C až 80°C
Samovolné vybíjení	5 % za den
Životnost	1350 cyklů

Tabulka 5.: Parametry nikl-metalhydridových baterií v elektromobilech, zpracováno dle [6] [12]

1.4.5 Lithium-iontové baterie

V současné době jsou lithium-iontové baterie nejpoužívanějšími bateriemi v elektromobilech. Mezi hlavní přednosti těchto baterií patří vysoká výkonová i energetická hustota (zajišťující teoretické jízdní vlastnosti konkurující vozidlům se spalovacími motory a teoreticky udávaný dojezd kolem 500 km), rozměrová tvarovatelnost a nízká míra samovolného vybíjení. Naopak mezi hlavní nevýhody patří rychlé stárnutí baterie (postupný pokles kapacity nezávislý na používání), pokles kapacity při překročení rozsahu pracovní teploty a nenávratné poškození při úplném vybití. Problémem je také obsah hořlavých sloučenin uvnitř baterie, které mohou při porušení baterie (např. autonehoda) explodovat. Každý člunek je proto vybaven ochranným obvodem a konstrukce vozidla musí být uzpůsobena k zajištění baterie. Nejčastěji jsou využívány speciální boxy pro uložení baterií. Tento faktor zvyšuje výrobní a pořizovací náklady baterií. Aktuální je také otázka recyklace baterií, jelikož vyřazené baterie obsahují zbytkový náboj a jsou považovány za nebezpečný odpad. Uvažuje se tedy o sekundárních aplikacích těchto baterií v menších spotřebičích. Problém recyklace není v současné době ještě plně vyřešen, a to také kvůli složité a nákladné demontáži použitých baterií. [6] [15]

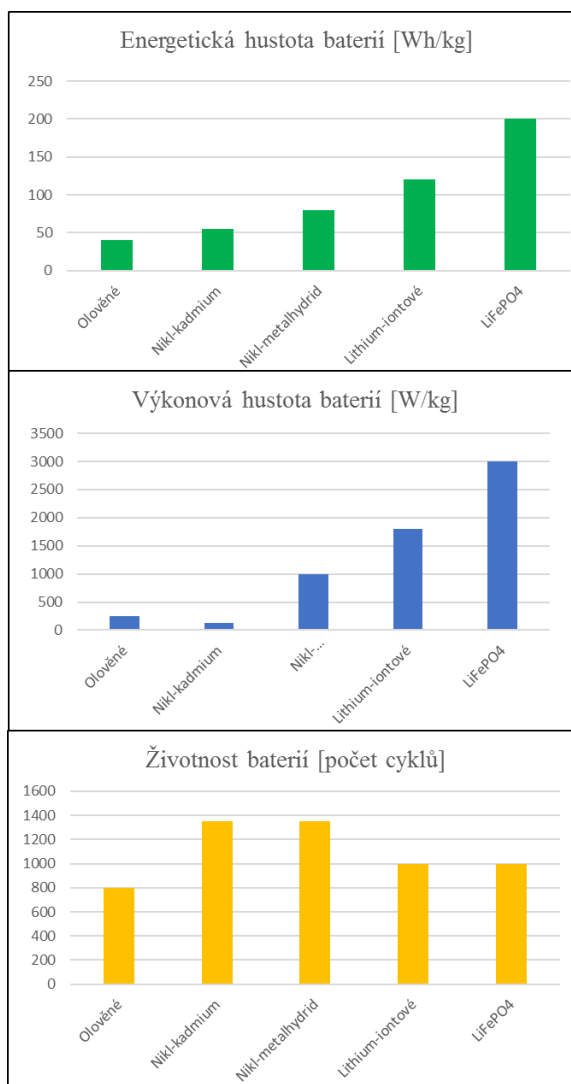
U lithium-iontových baterií je elektrolyt složen z vodíkové soli (např. LiPF_6) a rozpouštědla. Katoda je nejčastěji složena z Li_2MnO_2 nebo LiCoO_2 a anodu tvoří uhlíková matrice z grafitisovaných částí koksu. Chemický proces je založen na interkalačních reakcích – při nabíjení se ionty lithia ukládají do mřížky uhlíku katody a poté při vybíjení jsou uvolňovány zpět. V tabulce 6 jsou pro příklad uvedeny parametry lithium-iontových baterií pro elektromobily. [1] [6]

Energetická hustota [Wh/kg]	90-120
Výkonová hustota [W/kg]	300-1800
Napětí na článku [V]	3,5
Provozní teplota	5°C až 30°C
Samovolné vybíjení	10 % za měsíc
Životnost	1000 cyklů

Tabulka 6.: Parametry lithium-iontových baterií v elektromobilech, zpracováno dle [6] [12]

Rozvoj lithium-iontových baterií neustále probíhá a jejich vlastnosti jsou nadále zlepšovány. Klesá i jejich cena. Baterie se postupně stávají dostupnějšími, a to i přes technologickou náročnost výroby. Mezi novější modifikace lithiových baterií patří například typy LiFePO_4 baterií (lithium železo fosfátové), které mají zvýšenou

výkonovou i energetickou hustotu (až 200 Wh/kg) a představují menší zátěž pro životní prostředí. [15]



Obrázek 13.: Graf srovnání typů baterií podle různých parametrů, vytvořeno dle [6] [15]

1.4.6 Budoucí rozvoj baterií

V současnosti probíhá rozvoj baterií poměrnou velkou rychlostí. Většina velkých automobilových společností má svoje pracoviště, které se zabývají rozvojem a výrobou baterií do elektrických vozidel. Dokonce i některé společnosti, které jsou primárně zaměřeny na problematiku spalovacích motorů, založily odvětví týkající se rozvoje baterií.

V rámci neustálého hledání optimálních vlastností baterií jsou zkoumány i další nové typy, jako jsou například vysokoteplotní baterie, baterie lithium-vzduch anebo již zmiňované palivové články. Tyto typy jsou hlavně ve fázi výzkumu, a to především kvůli své technologické nedokonalosti. Zdroj [15] uvádí, že v nejbližší době nebude možné

najít lepší řešení, než které představují lithiové články, protože lithium a jeho sloučeniny poskytují největší měrnou energii, a proto by měl být výzkum v oblasti baterií zaměřen hlavně na jejich rozvoj a snižování jejich výrobních nákladů. [15]

Mezi nejznámější společnosti zaměřené na elektromobily patří společnost Tesla Inc., která se během posledních let zasloužila o velký rozvoj v oblasti baterií, ale také elektromobilů celkově. Americká společnost Tesla započala výstavbu obrovské továrny na baterie v Nevadě. Továrna jménem Gigafactory 1, která vzniká ve spolupráci s firmou Panasonic, by měla být dokončena v roce 2020 a bude největší továrnou baterií na světě. Podle společnosti Tesla povede tato masová výroba ke snížení cen baterií a zlepšení jejich dostupnosti. Společnost plánuje využití obnovitelných zdrojů při výrobě a řešení recyklace použitých článků. Tesla plánuje do budoucna stavbu podobných továren po celém světě. [17]

1.5 Dobíjení elektromobilu

Dalším významným jevem úzce spojeným s elektromobily je dobíjení jejich baterií. Dobíjení baterií a výskyt míst s možností dobítí elektromobilu představovalo, a i přes zlepšení situace v současné době stále představuje, jednu z hlavních překážek v masovém rozšíření elektromobilů do běžného provozu.

Pro dobíjení elektromobilů lze rozlišovat dva základní režimy dobíjení:

1. Veřejné dobíjení – do této kategorie spadá dobíjení na veřejných dobíjecích stanicích¹
2. Neveřejné dobíjení – do této kategorie je zařazeno dobíjení v domácnosti uživatele, dobíjení na soukromých parkovištích apod.

[18]

Elektromobily lze dobíjet střídavým (AC) i stejnosměrným (DC) proudem. Každý elektromobil je vybaven dobíjecí jednotkou, tzv. palubní nabíječkou. Při dobíjení malými a středními výkony AC proudem (nejčastěji neveřejné dobíjení) je využívána tato nabíječka. Tyto nabíječky jsou limitovány výkonem a liší se pro různé druhy elektromobilů. Typ a výkon palubní nabíječky ovlivňuje dobu dobítí. Dobíjecí místo pouze přeposílá elektřinu do palubní nabíječky. Stanice s velkými výkony (nejčastěji veřejné rychlodobíjení DC proudem) obsahují vlastní nabíječku. Tato nabíječka je vysoce

¹ Pojmem dobíjecí stanice je v této práci označován stojan se zásuvkou, konektorem nebo kabelem pro dobítí vozidla. Dobíjecí stanice představuje jedno dobíjecí místo.

výkonná a nabíjí přímo baterii. Tím je umožněno rychlé dobíjení, které nezávisí na palubní nabíječce. AC dobíjení je považováno za standartní (nouzové) a DC dobíjení je příplatkovým řešením. [18]

1.5.1 Konektory pro dobíjení

Většina elektromobilů využívá k dobíjení spojení s napájecí sítí pomocí kabelu s konektorem. Některé dobíjecí stanice jsou vybaveny integrovaným kabelem s koncovkou a elektromobil stačí pouze napojit. Jedná se hlavně o veřejné dobíjecí stanice se stejnosměrným proudem. Naopak většina neveřejných stanic je vybavena pouze zásuvkou a vozidlo je potřeba připojit kabelem, který je součástí příslušenství vozidla. K dobití určitého typu elektromobilu je potřeba daný konektor, který je kompatibilní s tímto typem vozidla. V tomto případě bohužel mezi výrobci vozidel nedošlo ke shodě, a proto existuje několik druhů konektorů, které jsou regionálně odlišné. V Evropě jsou využívány konektory normy IEC 62196, jejichž povinné používání je od 18. 11. 2017 definováno legislativou Evropské unie. [18] V Asii jsou využívány konektory CHAdeMO a v Severní Americe konektory typu SAE J1772. Majitelé, kteří vlastní elektromobily určené pro trh jiných kontinentů, mohou narazit na problémy s kompatibilitou konektorů na veřejných dobíjecích stanicích. [15] [18]



Obrázek 14.: Přehled typů konektorů pro dobíjení elektromobilů, zdroj [18]

1.5.2 Infrastruktura dobíjecích stanic

V současné době existuje několik typů dobíjecích stanic, které lze členit podle několika kritérií. Důležitým kritériem je výkon stanice. Stanice s výkonem do 22 kW jsou označovány jako běžné dobíjecí stanice a stanice s výkonem vyšším než 22 kW jako vysoce výkonné. Dalším kritériem je typ dobíjení, který rozděluje AC a DC stanice. Stanice dále mohou být uzpůsobeny pro veřejné dobíjení nebo pro soukromé dobíjení. Zatímco stanice prvního typu jsou principem podobné klasickým čerpacím stanicím,

do soukromých stanic spadají firemní místa pro dobíjení nebo také dobíjení v domácnosti. Jedním z kritérií, jehož problematika je popsána výše, je také kompatibilita a způsob připojení vozidla. Dalším kritériem je také vybavenost stanice a dostupnost různých služeb na dobíjecím stanovišti. [18]

Jakákoliv dobíjecí stanice musí splňovat příslušné bezpečnostní certifikáty, musí být bezpečně připojena do elektrických rozvodů a také pravidelně revidována. Problematika veřejné dobíjecí infrastruktury je vymezena i legislativně a to směrnicí 2014/94/EU z 22. 10. 2014 o zavádění infrastruktury pro alternativní paliva. Tato legislativa specifikuje požadavky a povinnosti při výstavbě dobíjecích stanic. [18]

Při výstavbě nových velkých dobíjecích stanic je předpokládáno využití velkoodběratelských zdrojů elektrické energie v okolí budoucí stanice a následná integrace dobíjecího místa do těchto objektů. Toto opatření ušetří náklady na výstavbu nových objektů a zdrojů elektrické energie. [18]

1.5.3 Neveřejné dobíjení

Tento typ dobíjení je nejčastěji určen pro pravidelné dobíjení jednoho typu vozidla. Tyto dobíjecí místa jsou umístěna v soukromém uzavřeném prostoru, a proto nemusí splňovat tzv. anti-vandal požadavky. Pro soukromé dobíjení je nejčastěji využívána běžná AC zásuvka, nebo tzv. wallbox. [18]

1.5.3.1 Běžná AC zásuvka

Běžná zásuvka není primárně určena k dobíjení elektromobilů, a proto je její využití spojeno s určitými omezeními. Zásuvku je nutné redukovat pro kabel elektromobilu, protože jednofázové ani třífázové zásuvky nejsou standardy pro elektromobily. Dále je nutné dodatečné jištění zásuvky a úprava zásuvky pro pravidelné několikahodinové zatížení při dobíjení, protože většina zásuvek není vhodná pro dlouhodobý provoz. Při této variantě dobíjení je velmi obtížné sledování spotřeby a nelze využívat inteligentní funkce při dobíjení. [18]

1.5.3.2 Wallbox

Jedná se o profesionální řešení k pravidelnému dobíjení elektromobilu. Wallbox představuje mezistupeň mezi běžnou zásuvkou a veřejnými dobíjecími stanicemi. Tomu také odpovídá jeho pořizovací cena. Wallbox podporuje inteligentní funkce při nabíjení, které umožňují sledování a vyhodnocování procesu dobíjení, nebo také komunikaci

s vozidlem. Stejně jako dobíjecí stanice jsou wallboxy vybaveny buď pouze zásuvkou, nebo integrovaným kabelem, který musí být kompatibilní s typem vozidla. [18]



Obrázek 15.: Příklady provedení wallboxů, zdroj [18]

1.5.4 Doba dobití elektromobilu

Doba dobití elektromobilu je ovlivněna několika faktory. Záleží na typu elektromobilu (baterie, kterou vozidlo využívá), způsobu dobíjení a parametrech dobíjecího místa. Faktory ovlivňující čas potřebný k dobití jsou na obrázku 16. [18]

CO OVLIVŇUJE DÉLKU DOBÍJENÍ ELEKTROMOBILU

<p>Kapacita sítě / přípojky</p>		<ul style="list-style-type: none"> • dimenze přípojného místa na distribuci nebo na místní rozvod (amperáž, 1-fáze, 3-fáze) • rizika zatížitelnosti (dopady na lokální DS) náhlým vysokým odběrem
<p>Typ / výkon dobíjecí stanice</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Stanice normálního dobíjení (AC) / rychlodobíjecí (DC) • Výkony 3kW, 11 kW, 22 kW, 50 kW (DC), v budoucnu i + 100 kW (DC)
<p>Schopnost vozidla dobít daným výkonem</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Ne každé vozidlo lze dobít libovolným výkonem (obvykle rozdíl pro 1-fáze / 3-fáze) • Vozidlo nemusí plně umět využít výkon stanice
<p>Battery management (nabíjecí křivka)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Nabíjecí proud se v čase mění (snižuje) – baterie si řídí proces dobíjení tak, aby byl šetrný (battery management) • Maximálním výkonem se dobíjí zejména v první třetině/polovině kapacity, poté se výkon výrazně snižuje
<p>Kapacita baterie (k dobití)</p>		<ul style="list-style-type: none"> • Baterie nemají paměťový efekt, lze dobít i po malých částech v celém rozsahu kapacity • Různá kapacita baterií u různých typů vozidel (větší baterie = delší dojezd = delší čas nabíjení)

Obrázek 16.: Faktory ovlivňující délku dobití elektromobilu, zdroj [18]

V rámci dobíjení elektromobilů jsou rozlišovány 3 základní modely dobíjení, které se odlišují výkonem dobíjecí stanice a dobou nabíjení. Jedná se o pomalé, standardní a rychlé dobíjení. V tabulce 7 je srovnání těchto modelů. [18]

1. Pomalé dobíjení

Dobíjení probíhá dlouhodobě přes noc/den na stanicích s výkonem 3 kW až 11 kW a nejčastěji střídavým proudem. Tento typ dobíjení je typický pro neveřejné dobíjecí stanice.

2. Standartní dobíjení

Dobíjení probíhá na stanicích o výkonu do 22 kW a nejčastěji střídavým proudem.

3. Rychlé až ultrarychlé dobíjení

Dobíjení slouží k okamžitému prodloužení dojezdu a probíhá na stanicích s výkonem 22 kW až 50 kW (v budoucnu až 100 kW) se stejnosměrným proudem. Tímto způsobem lze dobít pouze 80 % kapacity baterie. Pro dobití baterie do plné kapacity musí být poté využít 1. nebo 2. režim.

Model dobíjení	Výkon stanice [kW]	Orientační doba plného dobití baterie průměrného elektromobilu	Průměrný dojezd po 1 minutě dobíjení [km]
Pomalé	3	8 hodin	0,3
	11	3 hodiny	0,8
Standartní	22	1,5 hodiny	1,6
Rychlé	50	30 minut (80 % kapacity baterie)	4

Tabulka 7.: Orientační porovnání modelů dobíjení, zpracováno dle [18]

1.5.5 Náklady na dobíjení

Při neveřejném dobíjení platí uživatel částku za odběr elektřiny, která závisí na dodavateli energie a také na zvoleném tarifu. V současné době nabízejí společnosti speciální zvýhodněné tarify pro majitele elektromobilů. Tyto tarify mají snížené sazby za elektřinu pro dlouhodobý odběr. V České republice nabízí tento tarif například společnost ČEZ v rámci projektu Elektromobilita. Pro využití tarifu musí zájemce doložit vlastnictví elektrického vozidla (BEV, PHEV, HEV). [19]

Společnost ČEZ	
Domácí dobíjení - Tarif ČEZ Elektromobilita D27d	
Nízký tarif (od 18:00 do 8:00)	1,49 Kč/kWh
Vysoký tarif	3,48 Kč/kWh
Pořizovací cena wallboxu: Wallbox s kabelem a koncovkou Mennekes Circontrol CCL - eHOME T2C16	22 990 Kč

Tabulka 8.: Příklad tarifu pro domácí dobíjení elektromobilu od skupiny ČEZ v balíčku Elektřina pro dobíjení a cena wallboxu od společnosti ČEZ (ceny jsou uvedeny včetně DPH), zdroj [19]

Při dobíjení na veřejných stanicích probíhá platba 2 způsoby. Prvním častějším způsobem je paušální typ placení. Majitel elektromobilu uzavře smlouvu s poskytovatelem dobíjecích stanic. Uživatel poté platí měsíční poplatek za dobíjení elektromobilu. Podmínky a tarify těchto služeb se velmi liší v závislosti na společnosti, některé společnosti mohou nabízet za paušální poplatek neomezené dobíjení. Druhým

způsobem je jednorázová platba za dobítí elektromobilu. Tento způsob je obdobný jako platba za tankování klasického vozidla. Uživatel platí za odebrané kWh, případně za dobu dobíjení. V rámci podpory rozvoje elektromobility společnosti nabízejí různé akce a slevy pro zákazníky, některé společnosti umožňují uživatelům dobíjet na vybraných stanicích zdarma. Součástí smluvních podmínek dobíjecích tarifů je také zákaz přebíjení elektromobilů (ponechání již nabitých vozidel zapojených v nabíjecí stanici) a sankce za porušování těchto podmínek. Největšími provozovateli dobíjecích stanic v České republice jsou společnosti E.ON, ČEZ a PRE. [19] [20]

Veřejné dobíjení	
Společnost ČEZ	
Služba Elektromobilita: Neomezené dobíjení na stanicích ČEZ	6534 Kč ročně
Společnost PRE	
Poplatek za kartu	145,2 Kč ročně
Cena dobíjení	3,03 Kč/kWh
Poplatek za přebíjení (nabíjení delší než 120 min)	0,24 Kč/min

Tabulka 9.: Příklad cen dobíjení na veřejných stanicích v ČR (ceny jsou včetně DPH), zdroj [19] [20]

1.5.6 Nové technologie dobíjení

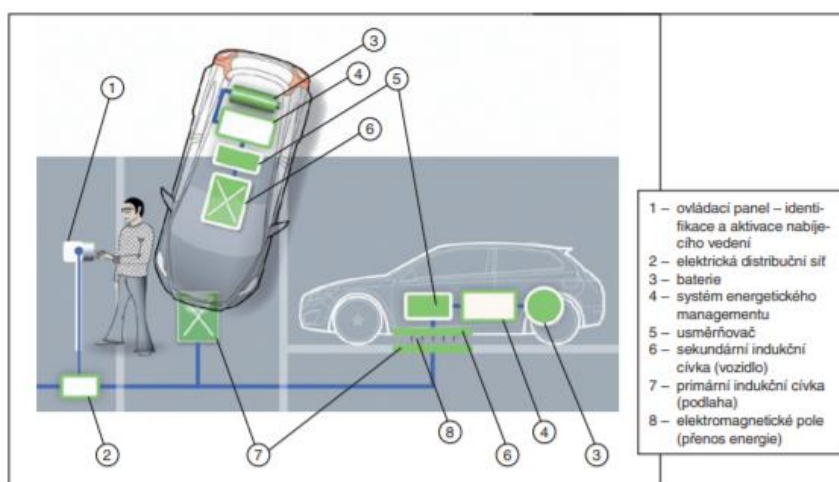
1.5.6.1 Tesla Supercharger

Společnost Tesla vytvořila pro svoje elektromobily síť vysoce rychlostních dobíjecích stanic Supercharger. V současné době se po celém světě nachází 1210 dobíjecích stanovišť s 9248 Superchargery. Tyto DC stanice mají výkon až 145 kW. Supercharger dokáže dobít baterie elektromobilu Tesla (o kapacitě 85kWh) na 80 % za 30 minut a na 100 % za 85 minut. Společnost Tesla nabízí ke koupi vozidel poukaz na dobítí 400 kWh ročně na těchto Superchargerech. Zákazníci, kteří zakoupili elektromobil Tesla před lednem 2017, mají nabíjení na těchto stanicích zdarma. Tesla plánuje do budoucna novou verzi Superchargerů s výkonem až 350 kW. Doba dobítí baterie na 80 % by poté mohla být snížena na polovinu, tedy na 15 minut. [21]

1.5.6.2 Bezkontaktní nabíjení

V současné době je systém bezkontaktního indukčního nabíjení převážně ve fázi vývoje. Jeho cílem je jednoduché, bezpečné a pro uživatele komfortní dobíjení vozidel. Při bezkontaktním dobíjení odpadají problémy s kabely a kompatibilitou konektorů. Tento systém by mohl být v budoucnu instalován na parkovacích místech pro

elektromobily, které by byly během stání dobíjeny. Systém bezkontaktního dobíjení je složen z primární a sekundární cívky. Primární cívka je integrována do vozovky, nebo je instalována jako deska na zemi. Sekundární cívka je připevněna na spodní straně podvozku vozidla. Primární cívka vybudí magnetické pole, které indukuje proud do sekundárního obvodu. Testované bezkontaktní systémy pracují s výkony okolo 3 kW při vzduchové mezeře 20 cm. Při těchto parametrech je doba nabití srovnatelná s klasickým domácím kabelovým nabíjením. Reálná účinnost indukčního přenosu je jen nepatrně horší než u přenosu kabelového. Systém bezkontaktního nabíjení obsahuje také několik senzorů pro správné nastavení polohy vozidla a umožňuje komunikaci mezi vozidlem a dobíjecí jednotkou. Výhodou je automatické spuštění procesu dobíjení při detekci vozidla a následné automatické vypnutí po jeho odjezdu. Nevýhodou tohoto systému je nutnost přesného nastavení vozu nad cívku při parkování. Dalším problémem je splnění přípustných bezpečnostních hodnot elektromagnetického pole. [15]



Obrázek 17.: Systém indukčního nabíjení elektrických vozidel Volvo, zdroj [15]

1.5.6.3 Battery swapping

Dalším způsobem „dobíjení“ elektromobilů je systém výměny baterií (battery swap system). Jde o technologii, která v současnosti prochází ranou fází vývoje. Elektromobily s touto technologií mají speciální konstrukci a baterii uzpůsobenou k výměně. Výměnné stanice obsahují kontejner, ve kterém jsou dobíjeny baterie. Po přijetí vozidla do stanice provede mechanismus výměnu baterie ve vozidle. Celý proces trvá pouze několik minut. Tento systém je v současnosti testován v elektrických dodávkách a speciálních elektrických vozidlech taxi. S vylepšeným systémem výměny baterií vstoupila na mezinárodní trh v roce 2015 česká společnost BattSwap. [6] [22]

2 Trh elektromobilů

V této kapitole je provedena analýza současného trhu elektromobilů.

2.1 Bariéry rozvoje

Trh elektromobilů je limitován několika faktory. Zásadní faktory, které limitují hromadnější rozšíření elektromobilů, jsou rozebrány v této kapitole.

2.1.1 Problematika baterií

V minulosti se řadily mezi největší překážky baterií jejich dlouhá doba nabíjení a malá energetická hustota, která znamenala krátkou dojezdovou vzdálenost. Tyto faktory se díky intenzivnímu rozvoji technologií daří postupně překonávat. Energetická hustota baterií je nyní dostačující pro běžné využití elektromobilů. Někteří výrobci elektromobilů udávají u svých produktů dojezd přes 500 km.² [23] Je však nutno brát v úvahu, že jde o teoretické hodnoty dojezdu za ideálních podmínek. V těchto údajích nejsou zahrnuty faktory jako:

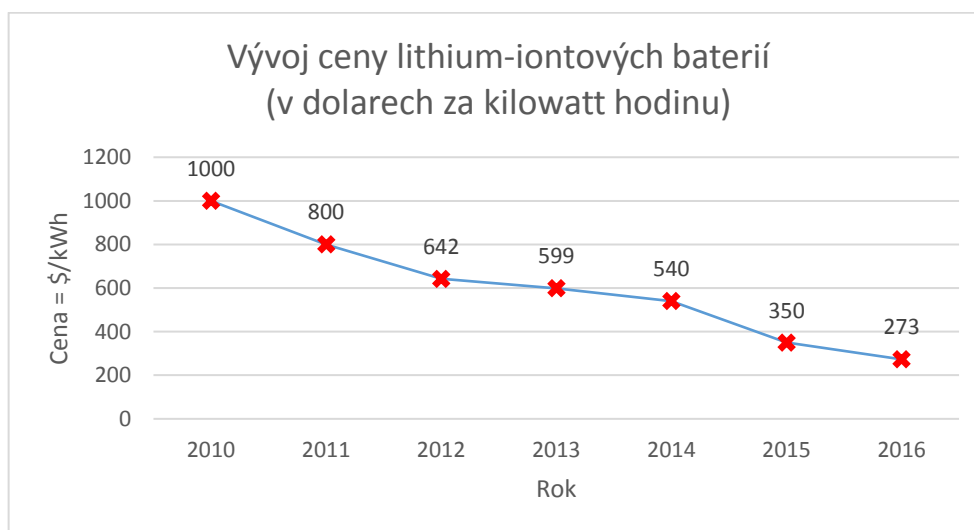
- stárnutí baterie
- nutnost napájení topení (klimatizace) nebo stěračů z baterie
- okolní teplota a její vliv na baterii
- rychlost jízdy
- styl jízdy řidiče
- jízdní prostředí apod.

Například uváděná teoretická dojezdová vzdálenost elektromobilu Tesla Model S 75D při rychlosti 55 mph (88,5 km/h) a okolní teplotě 20 °C je 334 mil (537,5 km). Při snížení okolní teploty na – 10 °C je tato dojezdová vzdálenost snížena na 304 mil (489,2 km). Při zapnutí topení za těchto podmínek je dojezd snížen na 246 mil (395,9 km). [23] V tomto orientačním propočtu je zahrnuta pouze závislost dojezdové vzdálenosti na okolní teplotě a poté na vytápění. Ostatní výše zmíněné faktory by tuto vzdálenost ještě snížily. [10] [23]

² Jedná se o údaj, který pro svoje elektromobily uvádí společnost Tesla. V současnosti patří její vozidla k elektromobilům s nejvyšší dojezdovou vzdáleností. Tento údaj také uvádí výrobci pro své elektromobily nové generace, které by se měly dostat do prodeje během následujících let. Průměrné teoretické hodnoty dojezdu současných elektromobilů se pohybují mezi 200 km až 300 km.

Energetická hustota baterií je v současnosti dostačující pro běžné městské využití elektromobilů a díky technologickému rozvoji stále vykazuje rostoucí tendenci. Ale ani nejlepší typy baterií nedosahují energetické hustoty paliv spalovacích motorů. Energetická hustota benzínu je přibližně 11 860 Wh/kg, zatímco energetická hustota současných baterií se pohybuje okolo 200 Wh/kg. Pro srovnání je potřeba započítat také rozdílné účinnosti motorů spalovacích vozidel a elektromotorů. Zážehové motory pracují s maximální účinností 30 %, zatímco elektromotory pracují s účinností kolem 90 %. Po započtení účinnosti zážehového motoru je energetická hustota benzínu přibližně 3 600 Wh/kg, což je asi 18x více než u baterií. [1]

Další překážku v rozšíření představuje vysoká cena baterií, která způsobuje vysokou pořizovací cenu elektromobilů. Vysoká cena baterie je zapříčiněna hlavně technologickou náročností výroby a využíváním dražších materiálů. Celkovou cenu baterie zvyšují také náklady spojené s jednotlivými články – kabeláž k propojení do skupin, elektronické kontrolní a komunikační prvky apod. V roce 2016 byla cena li-ion baterií 273 \$/kWh (5 569 Kč/kWh). [24] Jeden z nejpopulárnějších elektromobilů Nissan Leaf využívá baterii o kapacitě 40 kWh. Orientační cena baterie toho elektromobilu je přibližně 10 920 \$ (222 760 Kč). Cena samotné baterie elektromobilu dosahuje pořizovacích cen klasických vozidel se spalovacím motorem. [24]



Obrázek 18.: Vývoj ceny lithium-iontových baterií, vytvořeno dle [24]

Současná cena baterií je stále poměrně vysoká, ale díky technologickému pokroku v této oblasti vykazuje klesající tendenci. Jak je patrné z obrázku 18, cena baterií klesla mezi lety 2010 až 2016 téměř čtyřnásobně. Je předpokládáno, že díky rostoucímu objemu produkce a novým technologickým možnostem bude jejich cena i nadále klesat. Cena

nových baterií, které budou využívány v nové generaci elektromobilů v následujících letech, by měla být mezi 180 \$/kWh až 200 \$/kWh. [3] Pokles ceny baterií je v současné době mnohem strmější, než se v minulosti předpokládalo. Podle odhadů z roku 2015 měla cena li-ion baterií klesnout pod hranici 500 \$/kWh až v roce 2020. [25] Podle Mezinárodní energetické agentury (IEA) je cena baterií pod hranicí 300 \$/kWh již konkurenceschopná a umožňuje bezpečný nástup elektromobilů na automobilový trh. [25] Oproti tomu cena paliv pro spalovací vozidla je závislá na zásobách ropy a v budoucnu by měla stoupat. [24] [25]

Využití lithium-iontových baterií je spojeno s těžbou lithia. Zásoby lithia jsou limitovány a v roce 2010 byly jeho celosvětové zásoby odhadovány na 9,9 milionů tun. S rozvojem li-ion baterií došlo také k objevení nových zdrojů a v roce 2015 byly zásoby odhadnuty na 16,5 milionů tun. Většina nalezišť lithia se nachází v Jižní Americe, což představuje určitý geopolitický risk pro velké společnosti. Výroba baterií, včetně baterií pro menší spotřebiče jako jsou telefony nebo počítače, představuje asi 23 % z celkové spotřeby lithia. Pro následující roky jsou zásoby lithia dostačující, ale s budoucím rozvojem elektromobilů je nutné redukovat spotřebu lithia při výrobě baterií. Těžba a zpracování materiálů pro výrobu baterií představuje poměrně velkou zátěž pro životní prostředí. Problém představuje také recyklace baterií a likvidace jedovatých sloučenin. V budoucnu, díky investicím do nových výrobních továren (např. Gigafactory), by měla být ekologická zátěž spojená s bateriemi snížena. [15] [25]

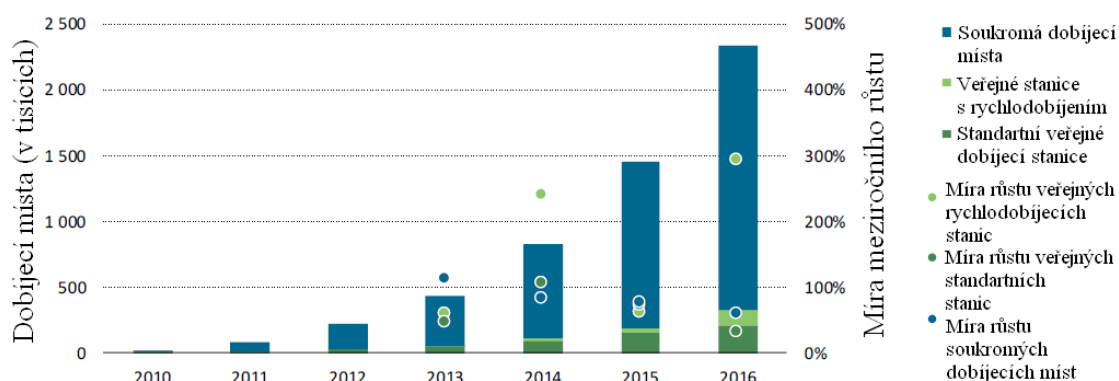
2.1.2 Problematika dobíjení a dobíjecí infrastruktury

Při nabíjení velkého počtu elektromobilů dochází k zatěžování elektrické rozvodné sítě. Při nabíjení, a hlavně při využívání rychlonabíjení, je ze sítě odebíráno velké množství energie, což může vést k přehřívání a poškození místních transformátorů. Proto musí být rozvodná síť v dané lokalitě uzpůsobena pro velký odběr. Problém tvoří také soukromé dobíjení velkého počtu vozidel v energetické špičce. Uživatelé by měli dobíjet svá vozidla přes noc, kdy není síť zatížena a odběr ze sítě nepředstavuje problém. Tento způsob dobíjení je podporován výhodnými sazbami pro odběr elektřiny. Moderní wallboxy obsahují časovače, které umožňují nastavit dobíjení v pravidelných intervalech v době, kdy není síť zatížena. [25]

Pro rozšíření elektromobilů je nutná fungující infrastruktura dobíjecích míst. Elektromobily mají možnost soukromého dobíjení, ale tento způsob je pomalý a nelze ho

využít při delších cestách. Dobíjecí stanice jsou potřebné hlavně kolem frekventovaných dopravních tahů a ve městech. Kolem dopravních tahů je vhodná výstavba rychlodobíjecích stanic. Investice do výstavby dobíjecích stanic je vysoká. Orientační cena výstavby jednoho dobíjecího místa je v rozmezí 5 000 až 7 000 liber (144 500 Kč až 202 300 Kč). Soukromí investoři nechtějí riskovat při výstavbě stanic pro malý počet elektromobilů, naopak zákazníci si nechtějí kupovat elektromobily kvůli málo rozšířené infrastruktuře. V některých zemích je tento problém postupně překonáván díky státním podporám. [25]

Podle dat IEA³ v roce 2016 přesáhl počet dobíjecích míst 2 000 000. V grafu na obrázku 19 je zobrazen vývoj počtu dobíjecích míst a jejich rozložení mezi veřejné a soukromé dobíjecí stanice. V těchto údajích je pro každé elektrické vozidlo⁴ započítána soukromá dobíjecí stanice (domácí dobíjení). V roce 2016 byly zaznamenány 2 miliony elektrických vozidel, z toho bylo 1 200 000 elektromobilů. Pro tato elektrická vozidla bylo dostupných 322 000 veřejných dobíjecích míst, z nichž 110 000 míst podporovalo rychlodobíjení (rychlodobíjecí stanice). [3]

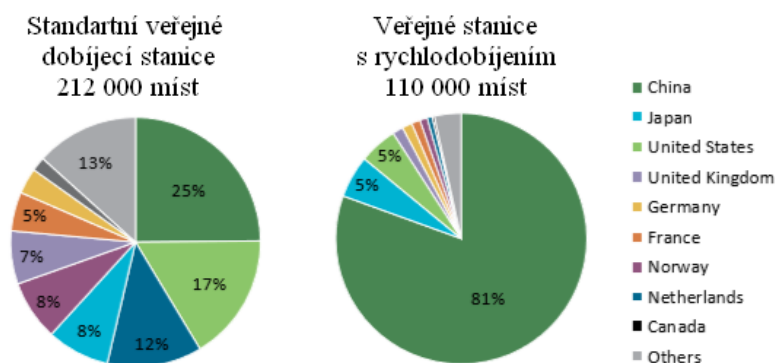


Obrázek 19.: Vývoj počtu dobíjecích míst, zdroj [3] (přeloženo)

K největšímu rozvoji rychlodobíjecích stanic došlo v Číně, kde jich v roce 2016 bylo nejvíce na světě a to 90 000. V Evropě jsou rychlodobíjecí stanice poměrně novým trendem, který je postupně rozšiřován. [3]

³ Data IEA (zdroj [3]) jsou součástí Celosvětového výhledu v oblasti elektrických vozidel 2017. Data v tomto dokumentu jsou z 39 zemí, ve kterých je elektromobilita nejvíce rozvinuta. Jde o Kanadu, USA, Čínu, Japonsko, Koreu, Lichtenštejnsko, Norsko, Island, Švýcarsko, státy Evropské unie, Indii a Turecko.

⁴ Pojem elektrická vozidla (EV) jsou označována vozidla BEV a PHEV, viz kapitola 1.1.1.



Obrázek 20.: Rozložení veřejných stanic v jednotlivých zemích v roce 2016, zdroj [3] (přeloženo, země v originále)

2.1.3 Problematika emisí a energetického mixu

Provoz elektromobilů díky jejich konstrukci a absenci výfukové soustavy nevytváří žádné znečištění. Během provozu elektromobily neprodukují žádné emise a v porovnání s provozem klasických automobilů jsou mnohem šetrnější k životnímu prostředí. K celkovému zhodnocení vlivu elektromobilů na životní prostředí je nutno brát v úvahu celý proces výroby elektromobilu. Největší emisní zatížení ve fázi výroby vzniká při výrobě baterií. V minulosti proběhlo mnoho výzkumů týkajících se dopadu na životní prostředí celého procesu výroby elektromobilů a jejich výsledky se značně liší. Každý výzkum sledoval různá kritéria ovlivňující životní prostředí a srovnával je s různými generacemi klasických vozidel. Některé pozitivní studie (jako např. Srovnání životního cyklu vozidel v Belgickém kontextu [25]) udávají, že celý cyklus elektromobilů (výroba a provoz) představuje až o 80 % menší emisní zátěž než cyklus vozidel se spalovacími motory. Naopak nejkritičtější studie (jako např. Srovnání životního cyklu spalovacích a elektrických vozidel pro budoucí odhad od britského ministerstva obchodu [25]) hodnotí výrobní proces elektromobilů jako srovnatelnou, nebo dokonce větší zátěž pro životní prostředí. Celkový dopad elektromobilů na životní prostředí je stále kontroverzním tématem. Nicméně, jak již bylo zmíněno výše, proces výroby elektromobilů prochází velkým rozvojem a nové metody v této oblasti povedou ke snižování ekologického dopadu. [25]

Pro provoz elektromobilu je nutná elektrická energie vytvořena v elektrárnách. Výroba elektřiny vede ke vzniku sekundárních emisí, jejichž velikost závisí na typu elektrárny a způsobu výroby elektrické energie. Díky rozdílnému energetickému mixu⁵ různých zemí, jsou benefity provozu elektromobilů pro životní prostředí rozdílné. S výrobou

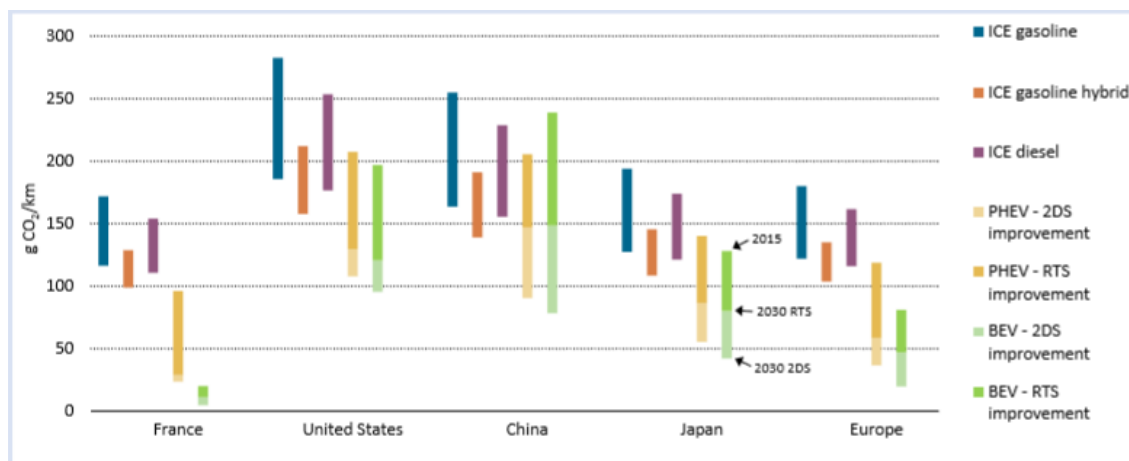
⁵ Podíl jednotlivých zdrojů energie na celkové produkci elektřiny země.

elektřiny pomocí obnovitelných zdrojů energie klesá hodnota sekundárních emisí, a tím je provoz elektromobilu téměř bezemisní (hodnoty provozní zátěže elektromobilů na životní prostředí jsou velmi nízké). V tabulce 10 jsou hodnoty emisí vzniklých při výrobě 1 kWh pro rozdílné zdroje energie. Nízké hodnoty sekundárních emisí vznikají při výrobě z obnovitelných zdrojů a při využití jaderné energie, naopak nejhůře jsou na tom tepelné elektrárny spalující uhlí. Mezi země s vhodným energetickým mixem se řadí například Norsko, Německo, Francie, Švédsko, Finsko. Naopak mezi země využívající hlavně tepelné elektrárny patří například Polsko, Estonsko. V těchto zemích by provoz elektromobilů neposkytoval výrazné ekologické benefity. [14] [25]

Elektrárna	Emisní faktor [gCO ₂ e/kWh]	
Tepelná - uhlí	960 až 1050	Emisní faktor - normalizovaná míra skleníkových plynů, která udává množství emisí uvolněných při výrobě energie
Tepelná - ropa	778	
Tepelná - zemní plyn	443	
Jaderná	66	
Vodní	10 až 13	
Větrná	9 až 10	
Solární	32	
Biomasa	14 až 41	

Tabulka 10.: Přehled emisí pro rozdílné zdroje elektrické energie, zpracováno dle [14]

Současné energetické mixy Japonska, USA a Evropy (průměr energetického mixu evropských zemí) zajišťují nižší provozní emisní zátěž elektromobilu než jakéhokoliv jiného vozidla. Nízké emisní hodnoty provozu elektromobilu vykazuje například Francie, a to díky energetickému mixu s převahou jaderné energie. Naopak energetický mix Číny, který patří k nejvyšším na světě, neposkytuje v současné době benefity pro nižší emisní zátěž elektromobilů oproti ostatním vozidlům a pro budoucí rozvoj tamější elektromobility je nutné snížení emisní zátěže země (snížení energetického mixu). Globální opatření, jejichž cílem je snížení znečišťování ovzduší (snížování energetických mixů), povedou k výrazněji nižším hodnotám emisní zátěže provozu elektromobilů oproti běžným vozidlům. Emisní zátěž provozu elektrických vozidel a její odhad pro rok 2030 je na obrázku 21. [3]



Obrázek 21.: Srovnání provozních emisních zátěží vozidel v závislosti na energetickém mixu pro rok 2015 a odhad provozní emisní zátěže elektrických vozidel v roce 2030, zdroj [3]

Poznámky k obrázku: ICE gasoline / diesel – benzínové / naftové vozidlo se spalovací motorem, ICE gasoline hybrid – benzínový hybrid, Europe – průměrný energetický mix Evropy, RTS a 2DS – různé scénáře budoucího rozvoje energetiky vlivem technologického pokroku a hospodářské politiky

2.1.4 Elektromobilita ve společnosti

K rozšíření elektromobilů je nutné také zvýšení informovanosti společnosti v této problematice. Uživatelům musí být vysvětleny principy, pozitiva i negativa této technologie. V současnosti prochází elektromobilita rychlým rozvojem a doprovází ji mnoho nepřesných informací. Nesprávné pochopení této technologie ve spojení s vysokou pořizovací cenou může odrážet potenciální uživatele elektromobilů. [25]

Elektromobily jsou na trhu poměrně novým artiklem a jejich počet je limitován (některé modely elektromobilů provází dlouhá čekací lhůta). Bazarový prodej elektromobilů zatím skoro neexistuje. V tomto ohledu mají klasická vozidla ve společnosti mnohem výhodnější postavení. Jejich velké množství, silná tradice na trhu, nízká pořizovací cena, okamžitá dostupnost a cenová rozmanitost představují pro většinu zákazníků lepší variantu při koupi vozidla.

2.2 Opatření vedoucí k rozvoji elektromobility

K rozvoji elektromobilů přispívá množství současných opatření, která jsou náplní této kapitoly.

2.2.1 Emisní normy

Emisní norma Euro je legislativní norma Evropské unie, která stanovuje hodnoty škodlivých emisí ve výfukových plynech vozidel. Tato norma je závazná a týká se benzínových vozidel, dieselových vozidel a vozidel na zemní plyn. Norma Euro vychází postupně v nových verzích, které stanovují přísnější limity. V současné době je v platnosti norma Euro 6 (pro osobní vozidla do 4,5 tuny) a všechna nově vyrobená vozidla musí splňovat hodnoty této normy. Tato norma postupně klade vyšší nároky na spalovací motory, které způsobují jejich vyšší cenu. Limity normy Euro 6 jsou v tabulce 11. Podle této normy musí být menší vozidla se spalovacím motorem vybavena filtrem na oxid dusíku. Výkonnější vozidla musí být vybavena filtrem pevných částic (nejčastěji se používá technologie Selektivní katalytické redukce (SCR) v kombinaci s kapalinou AdBlue). Od září roku 2018 vejde do platnosti norma Euro 6d, jejíž limity jsou opět zpřísněny. Od září roku 2018 dojde také ke změně v metodice měření emisí a spotřeby vozidel. Současnou metodiku NEDC nahradí metodika WLTP, která by měla generovat reálnější výsledky. Současná metodika NEDC je využita v kapitole 2.4.2. Postupné zpřísnování hodnot emisí ve výfukových plynech může vést ke zmenšení rozdílu v pořizovací ceně mezi elektromobily a klasickými vozidly. [25] [26]

Euro 6	Schváleno	Platí pro nová vozidla vyrobená od	Benzinová vozidla		Dieselová vozidla	
			NOx [g/km]	Množství pevných částic [g/km]	NOx [g/km]	Množství pevných částic [g/km]
	1.9.2014	1.9.2015	0,06	0,0045	0,08	0,0045

Tabulka 11.: Limity udávané normou Euro 6 pro vozidla se spalovacím motorem, zpracováno dle [26]

2.2.2 Městské emisní zóny

Některá evropská města mají zavedená tzv. schémata omezení městského provozu. Tato opatření vedou ke zlepšení ovzduší a snížení hluku ve městech. Vjezd do městských center je poté zpoplatněn, nebo je nutné vlastnit speciální povolení. Některé typy vozidel mají vjezd do centra zakázán úplně. Tyto opatření nejsou ve většině případů vztažena na elektromobily, které nemusí mít speciální povolení a ani neplatí poplatky za vjezd do center. Tato situace platí například v Londýně, Boloni, Veroně, Mnichově, Oslu, Krakově, Hannoveru apod. Tento fakt přispívá k využitelnosti elektromobilů v městském provozu, a to nejen pro soukromé užití, ale také pro účely veřejných služeb (taxi, půjčovny vozidel). [25]

2.2.3 Statní podpora

Mnoho zemí má zavedené programy na podporu elektromobility. Tyto programy jsou součástí podpory čistých technologií, které vedou ke zlepšení životního prostředí. Cílem těchto programů je snížení rozdílu v pořizovací ceně mezi klasickými a elektrickými vozidly. Cílem je také zvýšení poptávky po elektrických vozidlech, které by vedlo ke snížení jejich ceny. Státy využívají finanční nástroje (daňové zvýhodnění, příspěvky na nákup, poplatky za emise vozidel, snížení registračních poplatků apod.) i nefinanční mechanismy (parkování ve městech zdarma, dálniční jízda zdarma apod.). Statní podpora je spojena také s rozvojem dobíjecí infrastruktury a slevami při dobíjení. [25] [27]

2.2.3.1 Norsko

Norsko patří mezi přední země v podpoře elektromobility. Současný program funguje od roku 2013 a měl by pokračovat minimálně do roku 2020. Na elektromobily není vztažena 25% nákupní daň (DPH). V roce 2015 tato sleva představovala přibližně 11 600 dolarů (251 720 Kč) na elektromobil. [3] Uživatelé elektromobilů nemusí platit mýtné na silnicích, trajektech, mostech apod. Elektromobily také mohou při jízdě využívat pruhy vyhrazené pro autobusy. Norská vláda plánuje úplný zákaz prodeje klasických vozidel od roku 2025. [3] [27]

2.2.3.2 Čína

Čína poskytuje velmi silnou finanční i nefinanční podporu elektromobility. Elektromobily jsou zde osvobozeny od spotřební daně. Tato sleva představuje 5 000 dolarů až 8 500 dolarů pro jedno vozidlo (108 500 Kč až 184 450 Kč). Státní podpory při pořízení vozidel je možné využít pouze pro elektromobily od čínských automobilek. Spotřebitelé v Číně při pořízení nového vozidla platí vysoké poplatky za registraci a poznávacích značek vozidel, jejichž množství je ve velkých městech omezeno. V některých oblastech dokonce probíhají aukce o poznávací značky. Na elektromobily nejsou tyto poplatky vztaženy, nebo jsou výrazně sníženy. Elektromobily mají také přednostní právo při registraci nových vozidel. Čínská vláda silně podporuje místní automobilové společnosti v rozvoji elektromobility a jejím budoucím cílem je úplný zákaz výroby a prodeje klasických vozidel se spalovacími motory. [3]

2.2.3.3 Francie

Program pro podporu elektromobility funguje ve Francii od roku 2008 a neustále probíhá jeho vývoj. Na nákup nového elektromobilu je možné získat dotaci 6 000 € (153 000 Kč) na jedno vozidlo. Dále je možné získat příspěvek až 4 000 € (102 000 Kč) při doložení likvidace dieselového automobilu vyrobeného do roku 2006. Ve Francii funguje systém poplatků, který znevýhodňuje nové automobily s vysokými emisemi. Výše těchto poplatků je odvozena od emisní zátěže vozidla. [27]

2.2.3.4 Spojené státy americké

Státní podpora na nákup elektromobilů funguje v USA od roku 2009. Nejde o dotaci při koupi, ale podpora funguje ve formě daňových kreditů. Daňový kredit je zákazníkům odečten z výsledné daně z příjmu. Výše daňového kreditu dosahuje od 2 500 dolarů do 7 500 dolarů (54 250 Kč až 163 000 Kč) v závislosti na typu elektromobilu. Tato podpora bude ukončena pro konkrétní typ elektromobilu, když bude na území USA prodáno 200 000 kusů elektromobilů od tohoto výrobce vozidel. Některé státy USA poskytují další dotace a benefity pro uživatele elektromobilů. [27]

2.2.3.5 Česká republika

Podporu při koupi elektromobilů v České republice mohou využívat pouze podnikatelské subjekty. Dotace lze získat v rámci časově omezených výzev Ministerstva průmyslu a obchodu a Ministerstva životního prostředí. V roce 2017 byly dotace dostupné v rámci programu OPPIK – Nízkouhlíkové Technologie. Do roku 2020 by mělo proběhnout několik dalších výzev. Žadatel získá dotace po předložení a následném schválení podnikatelského záměru. Výše dotací závisí na záměru a typu žadatele. Orientační výše dotace pro jedno vozidlo představuje 24 % až 33 % z pořizovací ceny elektromobilu. Na výstavbu nových dobíjecích stanic je možné získat až 80% dotaci. [27] [28]

2.2.3.6 Souhrn dotací ve vybraných zemích

V tabulce 12 jsou uvedeny státní dotace při koupi elektromobilu ve vybraných zemích.

Země	Dotace na nákup elektromobilu (BEV)		Poznámka
Velká Británie	GBP 4 500	130 500 Kč	
Francie	Až EUR 6 000	153 000 Kč	Možno získat další příspěvek až 4 000 € (102 000 Kč) při likvidaci starého dieselového vozidla
Norsko	Na elektromobily se nevztahuje 25% nákupní daň (DPH).		
Německo	EUR 4 000	102 000 Kč	Pro elektromobily s pořizovací cenou do 60 000 € (1,26 mil. Kč). Jedná se o tzv. základní modely.
Švédsko	SEK 40 000	96 800 Kč	
Lucembursko	EUR 5 000	127 500 Kč	Formou vrácení částky v daňovém vyhodnocení.
Dánsko	Až DKK 15 000	51 300 Kč	Výše dotace závisí na ceně vozidla a na celkové státní dotaci.
Island	Na elektromobily se nevztahuje nákupní daň (DPH).		
Lichtenštejnsko	Až CHF 3 000	63 900 Kč	Pro elektromobily s pořizovací cenou od CHF 20 000 (426 000 Kč). Pro levnější vozy je dotace nižší.
Belgie	EUR 4 000	102 000 Kč	Platí pouze ve Vlámsku.
Portugalsko	EUR 2 250	57 375 Kč	
Česká republika	Lze získat dotaci pro podnikatelské subjekty v rámci výzev Ministerstva životního prostředí		
Irsko	Až EUR 5 000	127 500 Kč	
Malta	Až EUR 7 000	178 500 Kč	Při likvidaci spalovacího vozidla staršího více než 10 let.
Rumunsko	EUR 4 450	113 475 Kč	
Rakousko	EUR 4 000	102 000 Kč	Pro elektromobily s pořizovací cenou do 50 000 € (pro podnikatelské subjekty se dotace liší).
Slovinsko	EUR 7 500	191 250 Kč	
Španělsko	Až EUR 5 500	140 250 Kč	Možné další lokální dotace.
Čína	Až USD 8 500	184 450 Kč	Pouze na elektromobily od čínských automobilek.
USA	Až USD 7 500	163 000 Kč	Formou daňového kreditu.

Tabulka 12.: Státní dotace při nákupu elektromobilu ve vybraných zemích, zpracováno dle [27] [29]

2.2.4 Ostatní benefity

V této kapitole jsou rozebrány další benefity, které podporují rozvoj elektromobilů.

2.2.4.1 Silniční daň

V některých evropských zemích jsou majitelé vozidel povinni platit roční daň za užívání vozidla. Výše poplatku závisí na hodnotě emisní zátěže vozidla. Pro elektromobily je v mnoha zemích tato daň snížena, nebo úplně zrušena. Jde například o Norsko a Dánsko. [25]

V České republice je silniční daň vztažena na podnikatele a firmy, které využívají vozidlo k výdělečné činnosti. Její výše je u osobních aut odvozena od objemu motoru. Elektrická vozidla (i hybridy) do 12 tun jsou od této daně osvobozena. [30]

2.2.4.2 Veřejné parkování

Místní vyhlášky v některých zemích umožňují bezplatné parkování pro elektromobily v běžně placených zónách, nebo redukuje cenu parkovného. Pro uživatele elektromobilů jsou také vyhrazena speciální místa s dobíjecími body. Tyto opatření fungují například v Norsku, Dánsku, Itálii. [25]

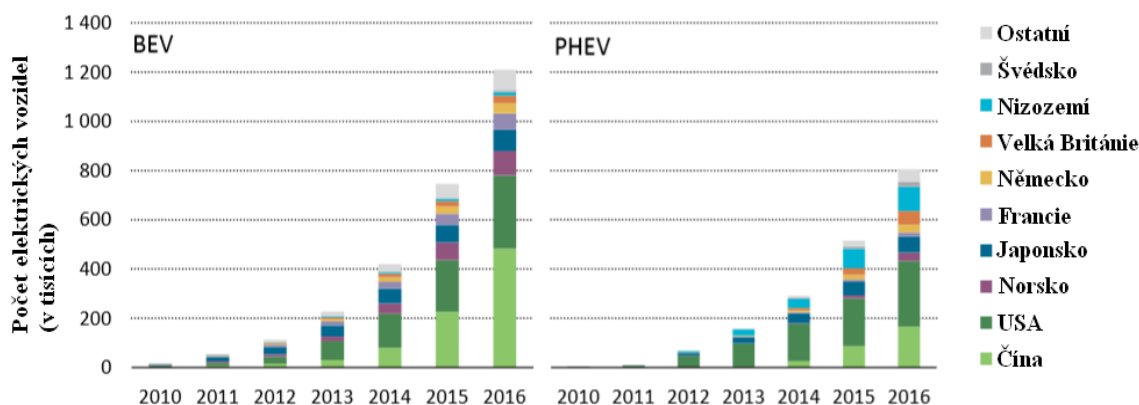
Bezplatné parkování elektromobilů v rezidenčních zónách je možné i v Praze. Uživatel musí své vozidlo zaregistrovat a poté je zbaven poplatků za parkování v těchto zónách. [27]

2.3 Statistiky prodeje elektromobilů

Tato část práce obsahuje statistické údaje spojené s globálním prodejem EV v roce 2016 a evropským prodejem EV v roce 2017.

2.3.1 Globální stav trhu pro rok 2016

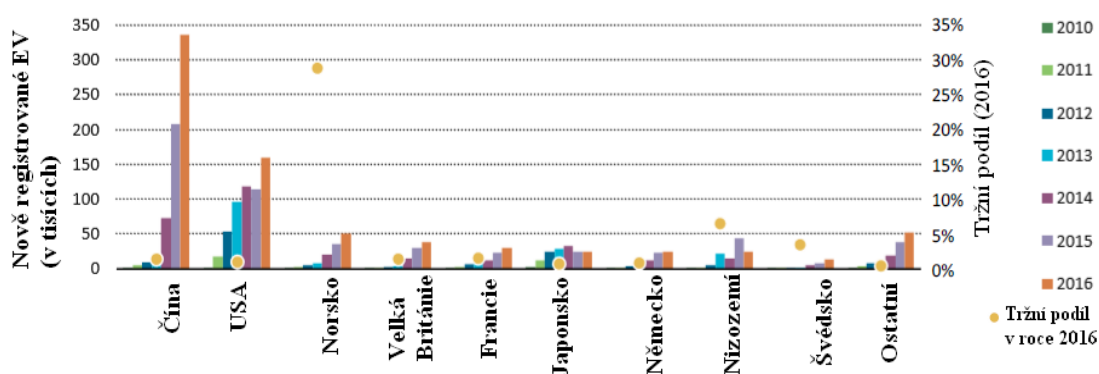
V roce 2016 přesáhl celosvětový počet elektrických vozidel 2 milióny kusů. Z tohoto počtu bylo 1 200 000 elektromobilů a 800 000 plug-in hybridů. Elektrická vozidla stále představují jenom nepatrné množství (0,2 %) z celkového množství osobních vozidel. Vývoj světového počtu elektrických vozidel je na obrázku 22. Čína se stala v roce 2016 zemí s nejvíce elektrickými vozidly na světě a překonala tak Spojené státy americké. Globální rozložení elektrických vozidel je velice nerovnoměrné. EV v Číně a USA tvoří 60 % z celkového počtu elektrických vozidel. Ve srovnání jednotlivých zemí podle počtu EV je 80 % z celkového množství elektromobilů v prvních 5 zemích a 96 % poté v prvních 10 zemích. Mezi tyto země patří: 1. Čína, 2. USA, 3. Norsko, 4. Japonsko, 5. Francie, 6. Německo, 7. Velká Británie, 8. Nizozemí, 9. Švédsko, 10. Kanada. [3]



Obrázek 22.: Vývoj počtu BEV a PHEV v jednotlivých zemích, zdroj [3] (přeloženo)

Rozložení trhu elektrických vozidel mezi BEV a PHEV je v různých zemích odlišné. Elektromobily v celkovém počtu převládají nad plug-in hybridy, a to hlavně díky silnému zastoupení v Číně. Přibližně 75 % elektrických vozidel v Číně představují elektromobily. Podobná situace je také ve Francii. Naopak v Nizozemí a ve Švédsku převládají plug-in hybridy, které představují více než 80 % z tamějších elektrických vozidel. V Norsku, USA, Japonsku a ostatních státech je rozdělení téměř rovnoměrné. [3]

Za rok 2016 bylo celosvětově prodáno přes 750 000 nových elektrických vozidel. Oproti roku 2015 zaznamenal trh EV 40% nárůst. Tento nárůst je značný, ale je nižší než meziroční nárůsty v předešlých letech. Trh elektrických vozidel byl v roce 2016 nejsilnější v Číně, kde bylo za rok prodáno přibližně 336 000 nových EV. Za Čínou následovaly Spojené státy americké s 160 000 prodanými vozidly. V Evropě bylo celkem prodáno 215 000 elektrických vozidel za rok 2016, kde většina elektrických vozidel byla prodána pouze v 6 zemích: Norsku, Francii, Velké Británii, Německu, Nizozemí a Švédsku. Vývoj prodeje EV ve vybraných zemích je na obrázku 23. [3]



Obrázek 23.: Vývoj prodeje EV ve vybraných zemích, zdroj [3] (přeloženo, upraveno)

V roce 2016 byl tržní podíl elektrických vozidel vyšší než 1 % z celkového prodeje osobních vozidel zaznamenan v 6 zemích: Norsku, Nizozemí, Švédsku, Číně, Francii

a Velké Británii. Norsko, které je považované za celosvětového lídra v rozvoji elektromobility, dosáhlo tržního podílu 29 % pro EV. Z tohoto vyplývá, že téměř každé třetí zakoupené vozidlo v Norsku bylo elektrické. Následovalo Nizozemí s podílem 6,4 % a Švédsko s 3,4 %. Tržní podíl v Číně, Francii a Velké Británii byl okolo 1,5 %. [3]

V roce 2016 byla v Dánsku omezena státní podpora elektromobility, což vedlo k velkému poklesu tamějšího prodeje elektrických vozidel (prodeje oproti roku 2015 poklesly o 68 %). V Dánsku byly programy na podporu elektromobility zavedeny v roce 2008. Součástí podpory byla dotace při koupi vozidel i nefinanční benefity pro uživatele elektrických vozidel. Při koupi elektromobilů byli spotřebitelé zbaveni registračních poplatků vozidel, které představují až 150 % z nákupní ceny vozidla. V roce 2016 byl pro elektromobily stanoven registrační poplatek ve výši 20 % z poplatku pro klasická vozidla s budoucím navýšením na 40 %. Cílem dánské vlády je zavedení plného registračního poplatku pro elektromobily do roku 2020 a srovnání podmínek pro elektrická a klasická vozidla. Z poklesu prodeje je patrná současná závislost trhu EV na státních podporách. [3]

2.3.2 Stav evropského trhu pro rok 2017

Za rok 2017 bylo v Evropě⁶ prodáno 290 813 elektrických vozidel. Z tohoto počtu bylo 135 051 elektromobilů a 155 762 plug-in hybridů. Celkový tržní podíl elektrických vozidel v Evropě představoval 1,75 % z celkového prodeje osobních vozidel. Tržní podíl elektromobilů (0,81 %) byl menší než tržní podíl plug-in hybridů (0,94 %). Zeměmi s největším počtem prodaných elektromobilů byly: 1. Norsko, 2. Německo, 3. Velká Británie, 4. Francie, 5. Švédsko. Tržní podíl elektrických vozidel vyšší než 1 % překonalo v roce 2017 15 evropských zemí. Nejvyšší tržní podíly EV zaznamenaly tyto země: 1. Norsko, 2. Island, 3. Švédsko, 4. Lichtenštejnsko, 5. Belgie. Z údajů je patrný nárůst tržního podílu EV v několika zemích. [29]

Shrnutí stavu EV ve vybraných evropských zemích pro rok 2017 je v tabulce 13.

⁶ Do těchto statistik patří státy Evropské unie, státy patřící do Evropského sdružení volného obchodu (Island, Lichtenštejnsko, Norsko, Švýcarsko) a Turecko.

Shrnutí prodeje EV ve vybraných evropských zemích pro rok 2017							
Země	Prodané EV za rok 2017	Tržní podíl EV v roce 2017	Prodané BEV 2017	Tržní podíl BEV 2017	Prodané PHEV 2017	Tržní podíl PHEV 2017	BEV z celkového počtu EV v roce 2017
Norsko	62 170	39,2%	33 025	20,82%	29 145	18,37%	53%
Německo	53 561	1,6%	24 437	0,71%	29 124	0,85%	46%
Velká Británie	48 338	1,9%	13 678	0,54%	34 660	1,36%	28%
Francie	36 888	1,8%	25 274	1,20%	11 614	0,55%	69%
Švédsko	20 031	5,3%	4 217	1,11%	15 814	4,17%	21%
Belgie	14 654	2,7%	2 703	0,49%	11 951	2,19%	18%
Island	2 990	14,1%	854	4,01%	2 136	10,04%	29%
Lichtenštejnsko	55	2,7%	55	2,72%	0	0,00%	100%
Dánsko	1 269	0,6%	706	0,32%	563	0,25%	56%
Česká republika	630	0,2%	389	0,14%	241	0,09%	62%

Tabulka 13.: Srovnání stavu EV ve vybraných evropských zemích pro rok 2017, zpracováno dle [29]

S trhem EV je také úzce spojen rozvoj dobíjecí infrastruktury. V tabulce 14 je zobrazen vývoj veřejných dobíjecích stanic ve vybraných evropských zemích v roce 2017.

Země	Počet veřejných dobíjecích stanic v roce 2016			Počet veřejných dobíjecích stanic v roce 2017			Míra růstu mezi 2016 a 2017
	Standartní	Rychlodobíjecí	Celkem	Standartní	Rychlodobíjecí	Celkem	Celkem
Norsko	7 040	1 117	8 157	8 292	2 041	10 333	26,68%
Německo	16 266	1 687	17 953	22 213	3 027	25 240	40,59%
Velká Británie	9 594	2 165	11 759	11 497	2 759	14 256	21,23%
Francie	14 250	1 593	15 843	14 407	1 904	16 311	2,95%
Švédsko	1 654	1 084	2 738	2 363	2 370	4 733	72,86%
Belgie	1 335	137	1 472	1 485	280	1 765	19,90%
Island	11	30	41	16	68	84	104,88%
Dánsko	1 675	421	2 096	2 114	467	2 581	23,14%
Česká republika	282	153	435	459	160	619	42,30%

Tabulka 14.: Vývoj veřejných dobíjecích stanic ve vybraných evropských zemích, zpracováno dle [29]

2.4 Nabídka elektromobilů

Tato část práce je zaměřena na určité modely elektromobilů a jejich prodejnost.

2.4.1 Nejprodáványější elektromobily

Prodej rozdílných modelů elektromobilů je odlišný v závislosti na trhu, na kterém se nachází. V tabulkách 14, 15 a 16 jsou uvedeny nejprodáványější modely elektromobilů za rok 2017 pro evropský, čínský a americký trh. Na čínském trhu převládají asijské modely vozidel od místních automobilek. Tyto modely v celkových žebříčkách prodaných elektromobilů zaujímají přední pozice, díky obrovskému množství prodaných vozidel v Číně. Mimo Čínu nejsou tato vozidla prozatím příliš rozšířena, ale čínské automobilky plánují budoucí expanzi těchto vozidel na zahraniční trhy. Převážně jde o malá vozidla určená k městskému provozu s nízkou pořizovací cenou. Modely EV od zahraničních

společností představují přibližně pouze 5 % z celkového prodeje EV v Číně. Čínské automobilové společnosti patří k neúspěšnějším prodejčům elektrických vozidel, díky velkému objemu prodeje v Číně. Elektromobil BAIC EC-Series byl celosvětově nejprodávanejším elektrickým vozidlem roku 2017. Na druhém místě se umístil elektromobil Tesla Model S. [31]

Evropa - nejprodávanejší elektromobily 2017					
Pořadí	Výrobce	Model	Prodej 2017 [ks]	Procenta z prodeje BEV 2017	Procenta z celkového prodeje EV 2017
1	Renault	Zoe	30 683	22,7%	10,6%
2	Nissan	Leaf	17 460	12,9%	6,0%
3	Tesla	Model S	15 561	11,5%	5,4%
4	BMW	i3	14 562	10,8%	5,0%
5	Volkswagen	e-Golf	12 902	9,6%	4,4%
6	Hyundai	Ioniq Electric	6 126	32,5%	2,1%
7	Kia	Soul BEV	5 556		1,9%
8	Smart	Fortwo ED	5 191		1,8%
9	Opel	Ampera-e	1 992		0,7%
10	Smart	Forfour ED	1 480		0,5%
	Ostani BEV		23 538		3,6%

Tabulka 15.: Nejprodávanejší elektromobily v Evropě v roce 2017, zpracováno dle [29]

Čína - nejprodávanejší elektromobily 2017			
Pořadí	Výrobce	Model	Prodej 2017 [ks]
1	BAIC	EC-Series	78 079
2	Zhidou	D2 EV	42 342
3	Chery	eQ	27 444
4	JAC	iEV6S/E	25 741
5	BYD	e5	23 601

Tabulka 16.: Nejprodávanejší elektromobily v Číně v roce 2017, zpracováno dle [31]

Spojené státy americké - nejprodávanejší elektromobily 2017				
Pořadí	Výrobce	Model	Prodej 2017 [ks]	Procenta z celkového prodeje EV 2017
1	Tesla	Model S	27 060	13,5%
2	Chevrolet	Bolt	23 297	11,7%
3	Tesla	Model X	21 315	10,7%
4	Nissan	Leaf	11 230	5,6%
5	BMW	i3	6 276	3,1%
6	Fiat	500e	5 380	2,7%
7	Volkswagen	e-Golf	3 534	
8	Kia	Soul BEV	2 157	
9	Ford	Focus Electric	1 817	

Tabulka 17.: Nejprodávanejší elektromobily v USA v roce 2017, zpracováno dle [32]

2.4.2 Srovnání modelů elektromobilů

V tabulce 18 je uvedeno orientační srovnání nejprodávanějších elektromobilů v Evropě. Jednotlivá vozidla jsou dostupná v různých provedeních v závislosti na velikosti baterie a výkonu motoru. S rostoucí kapacitou a výkonem narůstá pořizovací cena vozidel. Elektromobily jsou dostupné stejně jako klasická vozidla v různých výbavách a konfiguracích.

Výrobce	Model	Konfigurace	Rozměry [mm]	Hmotnost [kg]	Baterie		Max. rychlost [km/h]
			Délka x šířka x výška	Prázdné vozidlo	Typ	Kapacita [kWh] (akumulovaná energie)	
Renault	Zoe	R110 ZE40	4084 x 1730 x 1562	1 455	Li - ion	41	135
Nissan	Leaf	2018	4490 x 1790 x 1540	1 535	Li - ion	40	143
Tesla	Model S	100D	4979 x 1964 x 1445	2 200	Li - ion	100	250
		75D	4980 x 1964 x 1445	2 108	Li - ion	75	225
BMW	i3	BEV 2017	4011 x 1775 x 1598	1 320	Li - ion	33	150
Volkswagen	e-Golf	2017	4270 x 1799 x 1450	1 540	Li - ion	35,8	150
Výrobce	Model	Konfigurace	Výkon [kW]	NEDC		Pořizovací cena od	
				Teoretický dojezd [km]	Spotřeba na 100 Km [kWh]		
Renault	Zoe	R110 ZE40	80 (107 hp)	400	13,1	GBP 28 520	827 080 Kč
Nissan	Leaf	2018	110 (148 hp)	378		GBP 27 290	791 410 Kč
Tesla	Model S	100D	311 (417 hp)	632		GBP 91 550	2 654 950 Kč
		75D	245 (329 hp)	489		GBP 70 550	2 045 950 Kč
BMW	i3	BEV 2017	125 (168 hp)	300	13,1	GBP 34 070	988 030 Kč
Volkswagen	e-Golf	2017	100 (134 hp)	300	12,4	GBP 32 370	938 730 Kč

Tabulka 18.: Srovnání nejprodávanějších elektromobilů v Evropě, zpracováno dle [33]

Poznámky k tabulce: Ceny elektromobilů jsou uvedeny pro britský trh – zahrnují daň z přidané hodnoty a všechny poplatky spojené s pořízením vozidla (v ceně není zahrnuta dotace na nákup elektromobilu ve Velké Británii). Specifikace vozidel a ceny se mohou pro jednotlivé země lišit. [33] Hodnoty dojezdu a spotřeby energie jsou udávány podle NEDC. Jde o metodiku hodnocení parametrů automobilů, které jsou prodávány na evropském trhu. U elektromobilů je vyhodnocován dojezd a spotřeba, u vozidel se spalovacími motory je testována hlavně úroveň emisí. Udávané hodnoty jsou teoretické a nezahrnují faktory snižující dojezd elektromobilů. Tyto výsledky bývají často považovány za nadhodnocené, a proto hodnocení NEDC nahradí v Evropské unii metodika WLTP, která má přísnější kritéria. [34]

2.4.3 Největší společnosti na evropském trhu s EV

Nejúspěšnější společností v prodeji elektrických vozidel na evropském trhu za rok 2017 bylo BMW, díky své široké nabídce BEV a PHEV. Za ní následovaly společnosti: Volkswagen, Renault, Tesla a Mercedes. [31]

U klasických automobilových společností tvoří prodej elektrických vozidel pouze minimální podíl z celkových prodejů vozidel. Výjimku představuje společnost Tesla Inc., která je zaměřena výhradně na vývoj a prodej elektromobilů. Cílem společnosti je masové rozšíření elektromobilů do běžného provozu. Tesla představila několik nových technologií v rámci elektromobilů, které se týkají například výroby baterií nebo autonomního provozu vozidel. Elektromobily od společnosti Tesla patří mezi

nejpopulárnější elektrická vozidla. Tesla nabízí tři modely elektromobilů: Tesla Model S, Tesla Model X a Tesla Model 3. V současnosti však prochází společnost vážnými problémy. Nevládá výrobu a včasné dodání svého nového elektromobilu Tesla Model 3, který má být prvním hromadně vyráběným modelem společnosti. Společnost čelí finančním i personálním problémům. V minulosti již podobné problémy Tesla vyřešila. Úsilí o optimalizaci výroby a finanční hospodaření společnosti v roce 2018 rozhodne o jejím budoucím vývoji. [23] [35]

2.5 Budoucí rozvoj trhu

V roce 2015 proběhla mezinárodní Klimatická konference v Paříži, na které byla ustanovena Pařížská dohoda. Pařížskou dohodu schválilo 195 států. Tato dohoda určuje dlouhodobý plán pro globální ochranu klimatu a redukci emisí do roku 2030. Mezi hlavní cíle patří udržení nárůstu průměrné globální teploty výrazně pod hranicí 2 °C v porovnání s obdobím před průmyslovou revolucí a snížení emisí skleníkových plynů o nejméně 40 % ve srovnání s rokem 1990. Součástí této dohody jsou také ustanovení spjaté s rozvojem elektromobility. Jedním z cílů těchto ustanovení je překročení celosvětové hranice 100 milionů elektrických vozidel do roku 2030. [3] [36]

V roce 2016 představilo několik velkých automobilových společností a koncernů své cíle v rámci budoucího rozvoje elektromobility. Tyto cíle jsou shrnuty v tabulce 19. Mnoho velkých automobilových společností plánuje vstoupit na trh s novými modely elektrických vozidel do roku 2025. Budoucí vstup na trh také plánují menší společnosti s limitovanými modely sportovních a luxusních EV. [3]

Z cílů automobilových společností je patrné, že nabídka elektromobilů by měla do budoucna narůstat. Vzrůstat by měl také prodej elektromobilů a jejich tržní podíl. Tyto faktory povedou k postupnému posilování postavení elektromobilů na trhu. Na nárůst počtu elektromobilů by měl také navázat rozvoj dobíjecí infrastruktury. S budoucím rozvojem by mohly elektromobily tvořit důležitou část příjmů automobilových společností a tvořit velkou část jejich nabídky. Následkem by mohlo být hromadné rozšíření elektromobilů do běžného provozu.

Společnost	Cíle
BMW	Do roku 2025 by měla elektrická vozidla tvořit 15 % až 25 % z celkového prodeje koncernu BMW.
Čínské automobilky (26 společností)	Roční prodej 4,52 mil. elektrických vozidel do roku 2020.
Daimler	Roční prodej 0,1 mil. elektrických vozidel do roku 2020.
Ford	13 nových modelů elektrických vozidel do roku 2020.
Honda	V roce 2030 by dvě třetiny prodejů měla tvořit elektrická vozidla (BEV, PHEV, FCEV a hybridy).
Renault-Nissan	Prodej 1,5 mil. elektrických vozidel do roku 2020.
Tesla	Roční prodej 0,5 mil. elektrických vozidel do roku 2018. Roční prodej 1 mil. elektrických vozidel do roku 2020.
Volkswagen	Roční prodej 2 až 3 mil. elektrických vozidel do roku 2025.
Volvo	Prodej 1 mil. elektrických vozidel do roku 2025.

Tabulka 19.: Cíle automobilových společností v rámci elektromobility, zpracováno dle [3]

3 SWOT analýza elektromobilů pro Českou republiku

Silné stránky (STRENGTHS)	Slabé stránky (WEAKNESSES)
<ul style="list-style-type: none"> • Ekologický provoz vedoucí ke zlepšení životního prostředí v rámci dohod EU • Nízké provozní náklady pro uživatele • Využití elektromobilů pro firemní účely (státní dotace, vysoký roční nájezd) • Silné postavení automobilového průmyslu v České republice a tradice využívání osobních vozidel • Zastoupení automobilových společností v České republice (distribuce) • Stabilní elektrická síť a přijatelné ceny elektřiny • Postupný nárůst prodeje elektrických vozidel (BEV, PHEV) v České republice • Technologický pokrok vedoucí ke snížení ceny baterií a růstu poptávky • Rozšíření nabídky a budoucí nástup společností na trh elektromobilů (Škoda Auto) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vysoké pořizovací náklady • Málo rozvinutá infrastruktura dobíjecích stanic • Technologické překážky elektromobilů (dojezd, výkon) a vysoké náklady spojené s výrobou a výzkumem • Nízká míra informovanosti společnosti • Minimální tržní podíl elektromobilů z celkových prodejů vozidel (malé zastoupení na trhu) • Žádná státní finanční podpora pro běžné spotřebitele • Současný marketing zaměřený na klasická vozidla a bazarový prodej • Malá nabídka elektromobilů na Českém trhu • Nevhodný energetický mix země pro udržitelnost hromadně rozšířené elektromobility
Příležitosti (OPPORTUNITIES)	Hrozby (THREATS)
<ul style="list-style-type: none"> • Zlepšení lokální kvality ovzduší (města, dopravní tahy) a snížení hlučnosti provozu • Rozšíření elektromobilů v městském provozu (nárůst poptávky) • Rozšíření elektromobilů může vést k vylepšení energetického mixu země (udržitelnost elektromobility) • Budoucí ustanovení nové legislativy pro podporu elektromobility • Snížení závislosti na dovozu ropy • Plány pro budoucí rozvoj infrastruktury • Vytvoření nových pracovních míst (výroba, výzkum) 	<ul style="list-style-type: none"> • Málo rozvinutý trh oproti zahraničním trhům • Žádné budoucí vládní plány k omezení vozidel se spalovacími motory v České republice • Omezení vozidel se spalovacími motory v okolních státech může vést k importu levných vozidel do ČR • Současná limitovanost elektromobilů (pouze pro vybrané skupiny zákazníků) • Možné zneužití dotací pro výstavbu dobíjecích stanic • Zisk státu ze spotřební daně pohonných hmot

Tabulka 20.: SWOT analýza elektromobilů pro trh v České republice, vlastní tvorba

SWOT analýza je analytická technika, která slouží pro zhodnocení vnitřních a vnějších faktorů. Tyto faktory ovlivňují budoucí úspěšnost organizace nebo konkrétního záměru (např. produkt). SWOT analýza je složena ze 4 čtyř oblastí: Strengths (silné stránky), Weaknesses (slabé stránky), Opportunities (příležitosti), Threats (hrozby). V této práci je SWOT analýza provedena pro elektromobily, z hlediska nové technologie, která nastupuje na trh. [37]

3.1 Silné stránky

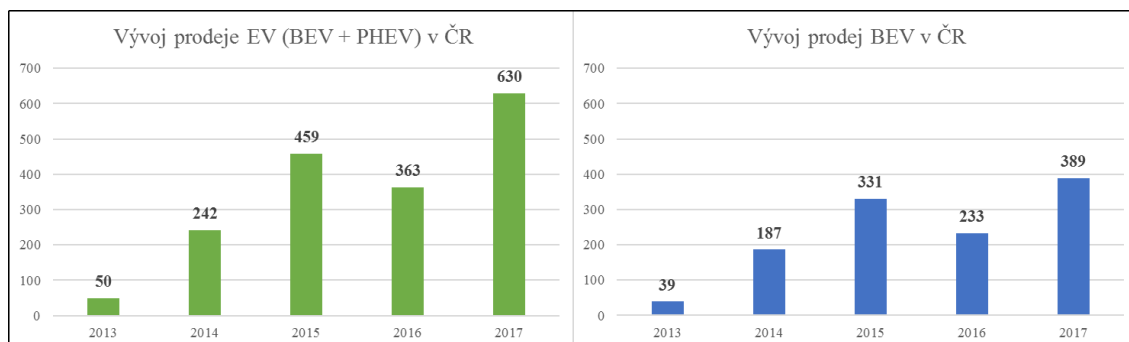
Česká republika je od 4. 11. 2017 jednou ze smluvních stran Pařížské dohody. [36] Rozšíření elektromobilů může vést ke snížení emisní zátěže dopravy v ČR, což výrazně přispěje k plnění závazků této dohody.

Elektromobily nabízí uživatelům výhodu v podobě nízkých provozních nákladů. V České republice je možné získat státní dotaci na nákup elektromobilu pro firemní účely. Na elektromobily se oproti klasickým vozidlům nevztahuje silniční daň. Při vysokém ročním nájezdu jsou elektromobily výhodnější pro firemní účely než klasická vozidla. Všechny tyto náklady jsou podrobně rozebrány v kapitole 4.

Výroba i prodej automobilů má v České republice silné postavení. V roce 2017 bylo v České republice prodáno 271 595 nových osobních vozidel, což ukazuje na silnou kupní sílu. [38] V České republice se nachází výrobní závody několika velkých automobilek, jako jsou Škoda, Hyundai a TPCA (Toyota Peugeot Citroen Automobile Czech). Světové automobilové společnosti mají v ČR rozvinutou distribuční síť. Při budoucím možném technologickém průlomu elektromobilů a jejich hromadném rozmachu do běžného provozu, by neměl být problém s jejich prodejem a distribucí.

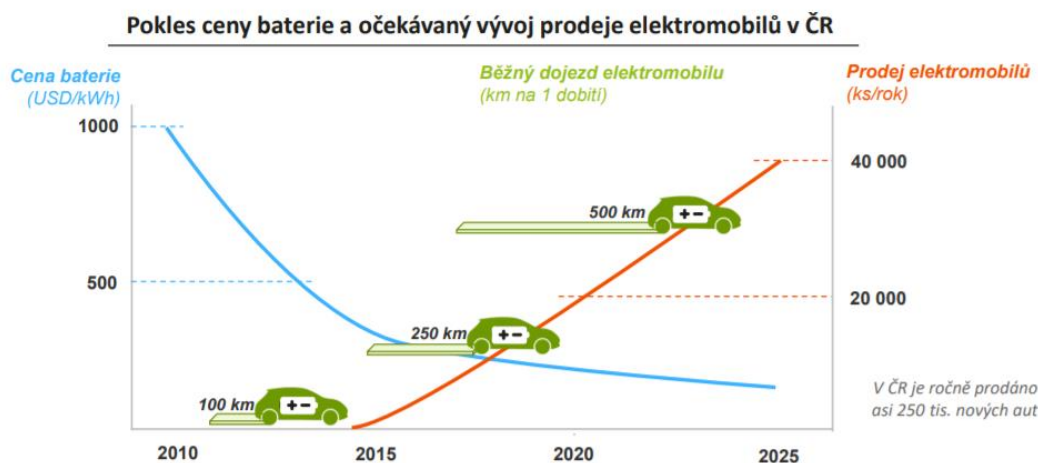
Podle energetických společností v ČR je elektrická síť připravena na rozšíření elektromobilů. Jak bylo rozebráno v kapitole 1.5.5, energetické společnosti v Česku nabízí uživatelům elektromobilů speciální tarify pro dobíjení. Podle odhadů by se cena elektřiny v ČR neměla příliš zvyšovat (max. 2,9 % ročně). [13]

Na obrázku 24 je znázorněn vývoj prodeje EV a BEV v ČR. Prodej elektrických vozidel v ČR udržuje poměrně rostoucí tendenci a nadále by měl stoupat. Mezi roky 2016 a 2017 se prodej EV navýšil o 74 %. Meziroční nárůst prodeje elektromobilů mezi roky 2016 a 2017 byl 67 %. [29] Trh EV v ČR je málo rozvinutý, ale v současnosti vykazuje rychlý růst.



Obrázek 24.: Vývoj prodeje EV a BEV v ČR, vytvořeno dle [29]

V kapitole 2.1.1 byl rozebrán technologický pokrok vedoucí ke snižování ceny baterií pro elektromobily. Predikce nárůstu poptávky elektromobilů je na obrázku 25. Podle predikcí by se měl do budoucna zvyšovat i tržní podíl EV v ČR. S rostoucí poptávkou bude také narůstat nabídka elektromobilů v ČR.



Obrázek 25.: Pokles ceny baterie a očekávaný vývoj prodeje elektromobilů v ČR, zdroj [39]

Budoucí rozšíření nabídky elektrických vozidel povede ke zvýšení jejich prodeje. Nástup na trh elektrických vozidel plánuje také společnost Škoda Auto, která je největším prodejcem osobních vozidel v ČR. Zapojení této společnosti do prodeje EV by mohlo vést ke zvýšení prodeje elektrických vozidel na českém trhu.

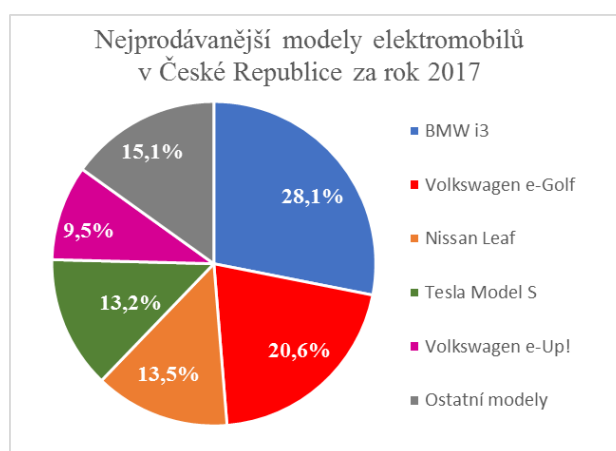
3.2 Slabé stránky

Slabé stránky elektromobilů vyplývají z jejich bariér rozvoje, které jsou rozebrány v kapitole 2.1. Jedná se hlavně o finanční náročnost výroby, vysokou pořizovací cenu, technické nedostatky elektromobilů oproti klasickým automobilům a málo rozvinutou infrastrukturu dobíjecích stanic. V roce 2017 bylo v České republice 619 veřejných dobíjecích míst (tabulka 14). Státní dotace na výstavbu veřejných dobíjecích stanic

a budoucí plány velkých energetických společností (ČEZ) by měly vést k vybudování potřebné infrastruktury.

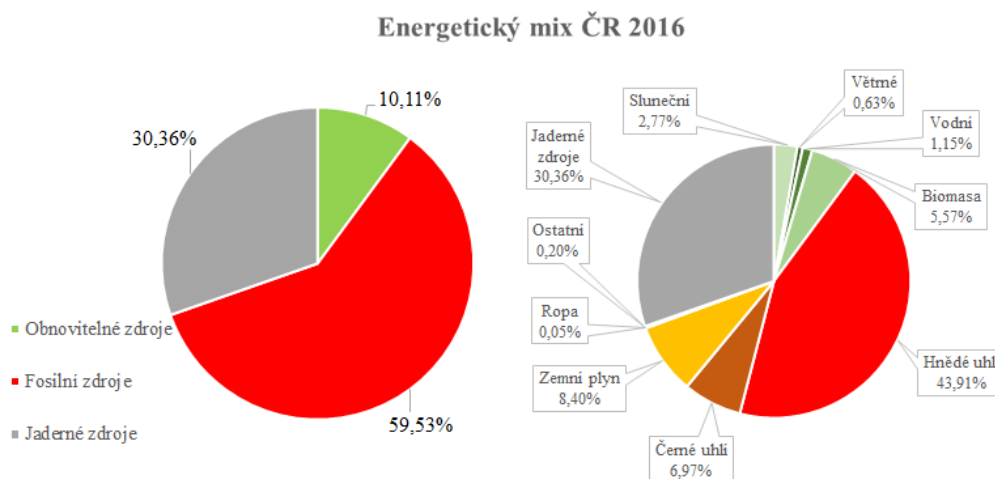
Česká republika neposkytuje žádnou finanční podporu pro běžné uživatele elektromobilů. Tento fakt v kombinaci s vysokou pořizovací cenou odrazuje zájemce při koupi. Vysoká pořizovací cena zvyšuje TCO elektromobilu v prvních letech provozu (kapitola 4). Marketing v rámci osobních vozidel je zaměřený hlavně na vozidla se spalovacími motory a bazarový prodej. Nedostatek představuje také nízká míra informovanosti v rámci elektromobility. Potencionální zákazníci mohou mít zkreslené informace o stavu elektromobilů a nemusí správně chápat všechny jejich přednosti. Tyto faktory ovlivňují nízkou poptávku elektromobilů v České republice. Tržní podíl EV v prodeji osobních vozidel představoval v roce 2017 pouze 0,2 %, z toho byl tržní podíl elektromobilů pouze 0,14 % (tabulka 13).

Zájemce může odradit také nižší nabídka elektromobilů oproti ostatním zemím. Nejprodávanejší evropský elektromobil Renault Zoe bude dostupný na českém trhu až v průběhu roku 2018. Nejprodávanejší modely elektromobilů v ČR za rok 2017 jsou na obrázku 26.



Obrázek 26.: Nejprodávanejší modely elektromobilů v ČR za rok 2017, vytvořeno dle [29]

Energetický mix České republiky je založený převážně na fosilních palivech. Energetický mix ČR v roce 2016 je zobrazen na obrázku 27. Při hromadném rozšíření elektromobility by mohl v České republice nastat výrazný problém sekundárních emisí. Pro plné využití benefitů spojených s ekologičností elektromobilů by bylo nezbytné snížit výrobu elektřiny z fosilních paliv a soustředit se více na obnovitelné zdroje nebo jadernou energii.



Obrázek 27.: Energetický mix ČR v roce 2016, vytvořeno dle [40]

3.3 Příležitosti

Bezemisní provoz elektromobilů vede ke zlepšení životních podmínek v oblastech užití. Jde o snížení přímých emisí a snížení hlukové zátěže. Zlepšení je potřebné ve velkých městech a v okolí dopravních tahů. Ze současných osobních vozidel tuto příležitost poskytují v největší míře elektromobily. Budoucí zavedení emisních zón v ČR by vedlo k nárůstu poptávky po elektromobilech ve velkých městech. Další příležitost představuje využití elektromobilů pro veřejné účely ve městech, například služby taxi nebo služby sdílené dopravy.

Rozšíření elektromobilů by mohlo vést ke státním krokům, které by ustanovily legislativu týkající se elektromobility. Po vzoru ostatních zemí by mohla být zavedena finanční podpora pro běžné uživatele. Hromadný provoz elektromobilů by také mohl poskytnout příležitost pro úpravu energetického mixu země a snížení závislosti na dovozu ropy.

Ministerstvo průmyslu a obchodu předpokládá scénář elektromobility, ve kterém by došlo k pokrytí infrastruktury dobíjecích stanic velkých měst (krajská města a města s více než 100 000 obyvateli) a dopravních tahů (dálniční tahy) do roku 2020. Města s více jak 10 000 obyvateli by měla být pokryta do roku 2025. [13]

Rozvoj elektromobilů také nabízí příležitost v podobě nových pracovních pozic, které jsou spojeny s výzkumem v oblasti baterií a výrobou elektromobilů.

3.4 Hrozby

Vláda České republiky neplánuje žádné budoucí kroky vedoucí k omezení prodeje vozidel se spalovacími motory. Elektromobily nebudou do budoucna na českém trhu zvýhodněny jako v některých evropských zemích. Současný trh elektromobilů je v České republice málo rozvinutý oproti ostatním zemím. Tyto faktory mohou odradit některé společnosti s elektromobily k nástupu na český trh, a proto by některé modely nemusely být v budoucnu v ČR dostupné.

Po omezení prodeje vozidel se spalovacím motorem v okolních zemích může dojít k importu těchto vozidel do ČR. Tato vozidla budou mít nízké pořizovací ceny a mohou ještě posílit silné postavení klasických vozidel na trhu. Nízké pořizovací ceny vozidel by mohly být pro zákazníky rozhodujícím faktorem. Zákazníci by poté dávali přednost levným vozidlům oproti novým technologiím.

V současnosti jsou elektromobily považovány za limitované zboží s úzkou skupinou uživatelů. Mnoho lidí je považuje za nedostupný a futuristický produkt. Je možné, že i přes budoucí technologický rozvoj nezaujmu širokou veřejnost zákazníků v ČR a zůstanou pouze okrajovým produktem.

Poskytování státní dotace na výstavbu nových dobíjecích stanic může být ohroženo zneužíváním těchto dotací. Možné budoucí kontroverze by mohly zhoršovat pohled společnosti na elektromobilitu.

Stát získává příjem ze spotřební daně na pohonné hmoty, která je poměrně vysoká. Rozšíření elektromobilů by vedlo k poklesu prodeje pohonných hmot, a tedy ke snížení státních příjmů.

4 Ekonomická stránka provozu elektromobilu v ČR

Náklady na provoz elektromobilu jsou nižší než u klasického vozidla, a to díky palivovým a sníženým údržbovým nákladům. Společné údržbové náklady obou typů vozidel představuje například: údržba brzd, výměna pneumatik a technická kontrola. Klasická vozidla mají navíc další náklady: výměna oleje a kapalin, výměna svíček, kontrola emisí. U elektromobilů jsou možné budoucí náklady spojeny s výměnou a servisem baterie. V současnosti výrobci poskytují na baterie záruku kolem 8 let nebo 160 000 km. Podle uživatelů nedegraduje baterie ani po několika letech provozu. Automobilové společnosti ještě nemají přesně nastaveny konkrétní podmínky pro výměnu baterií, díky krátké době elektromobilů v provozu. Díky jednodušší vnitřní konstrukci a využití elektromotoru jsou elektromobily méně poruchové. Menší poruchovost zajistí nižší servisní náklady na elektromobil v průběhu let. [39] [41]

Pro ekonomické zhodnocení elektromobilu je důležitá metoda TCO (Total Cost of Ownership), která zhodnocuje celkové náklady spojené s vozidlem v průběhu let (najatých km). V této práci jsou do TCO započítány pořizovací a provozní náklady vozidel. Nejsou zde započteny ostatní náklady spojené s vlastnictvím vozidla (např. povinné ručení, poruchovost a stárnutí vozidel). Tyto náklady by byly nižší u elektromobilů než u klasických vozidel.

4.1 Vstupní parametry

V metodě TCO budou hodnoceny 3 vozidla: elektromobil Nissan Leaf 2018 a benzínová vozidla Škoda Rapid 2017 a VW Golf 2017. Jejich parametry jsou uvedeny v tabulce 21. Jedná se o vozidla podobné kategorie – hatchbacky nižší střední třídy. Škoda Rapid a VW Golf patří mezi nejprodávanější vozidla v ČR a elektromobil Nissan Leaf je zařazován mezi nejlepší elektromobily na trhu. Škoda Rapid patří mezi nejlevnější vozy v této kategorii, což se také projeví ve výbavě i výkonu vozidla. VW Golf je parametry nejpodobnější elektromobilu. Ceny vozidel jsou uvedeny v základní výbavě pro danou motorizaci, ale úroveň výbavy mezi vozidly je velmi odlišná. Nissan Leaf je prezentován jako současné moderní vozidlo, a proto již v základní výbavě nabízí více moderních funkcí než klasická vozidla. Při výpočtu palivových nákladů je brána v úvahu

95% účinnost nabíjení elektromobilu (odebraná energie vzroste na 14,74 kWh/100 km). Pro TCO srovnání je vytvořen modelový provozní režim dobíjení elektromobilu, který je složen z 60 % z domácího dobíjení ČEZ a ze 40 % z veřejného dobíjení PRE. Tento režim je pouze modelový. V reálném případě je výhodnější mít dobíjecí tarify od společného provozovatele, pokud je to možné. Většina provozovatelů nabízí pro společné veřejné a domácí dobíjení výhodné tarify. Náklady na údržbu vozidel jsou orientační a jejich výše je stanovena z metodiky Ministerstva průmyslu a obchodu (zdroj [13]). TCO srovnání vozidel je provedeno pro 3 scénáře ročního nájezdu: 10 000 km, 35 000 km a 50 000 km. V úvahu je brán časový výhled na 8 let, pro který je garantována životnost baterie.

Elektromobil	výbava	výkon [kW]	baterie [kWh]	spotřeba ²⁾ [kWh/100 km]	max. rychlost [km/h]	hmotnost [kg]	cena [Kč]
Nissan Leaf 2018	základní ¹⁾	110	40	14	143	1 535	850 000
Benzínová vozidla	výbava	výkon [kW]	emise CO ₂ [g/km]	spotřeba ²⁾ [l/100 km]	max. rychlost [km/h]	hmotnost [kg]	cena [Kč]
Škoda Rapid 2017 1.0 TSI 81 kW	základní ¹⁾	81	119	4,6	200	1 165	316 900
VW Golf 2017 1.4 TSI 110 kW	základní ¹⁾	110	106	5,2	216	1 183	518 900

¹⁾ Nejlepší výbava pro danou motorizaci a verzi vozidla.

²⁾ Jde o teoretickou kombinovanou spotřebu udávanou od výrobce. Spotřebu elektromobilu ovlivňuje mnoho faktorů.

Tabulka 21.: Parametry srovnávaných vozidel, vytvořeno dle [42] [43] [44]

4.2 Palivové náklady

V tabulce 22 jsou roční palivové náklady vozidel. Z tabulky je patrné, že palivové náklady elektromobilu jsou nižší než benzínových vozidel. Náklady spojené s dobíjením elektromobilu jsou vypočteny pro 4 režimy dobíjení (kapitola 1.5.5): domácí dobíjení ČEZ, veřejné dobíjení PRE, veřejné dobíjení ČEZ a modelový režim provozu. Při vyšším nájezdu je pro dobíjení na veřejných stanicích výhodnější tarif ČEZ, který má podobu fixního ročního nákladu bez ohledu na počet odebraných kWh. Mezní hodnotou je nájezd 14 197,3 km. Při nižším nájezdu je výhodnějším řešením dobíjení PRE. Naopak při překročení tohoto nájezdu vyjde levněji veřejné dobíjení ČEZ. Pro zhodnocení modelového režimu provozu a jeho části domácího dobíjení, jsou ve výsledné TCO metodě (kapitola 4.4) připočteny náklady na úpravu domácí elektroinstalace (koupe wallboxu z kapitoly 1.5.5).

Palivové náklady elektromobilu Nissan Leaf 2018					
Účinnost nabíjení = 95 %	Sazba	Náklady na km [Kč]	Roční náklady [Kč]		
			Nájezd 10 000 km	Nájezd 35 000 km	Nájezd 50 000 km
Způsob dobíjení					
Domácí dobíjení (noční tarif) ČEZ	1,49 Kč/kWh	0,22	2 195,79	7 685,26	10 978,95
Veřejné dobíjení PRE	3,03 Kč/kWh	0,45	4 465,26	15 628,42	22 326,32
Poplatek za kartu	145,20 Kč		145,20	145,20	145,20
Celkem			4 610,46	15 773,62	22 471,52
Veřejné dobíjení ČEZ	6534 Kč ročně		6 534,00	6 534,00	6 534,00
Režim provozu elektromobilu • 60 % domácí dobíjení ČEZ • 40 % veřejné dobíjení PRE			3 248,78	11 007,73	15 663,09

Palivové náklady benzínových vozidel					
Vozidlo	Cena benzínu ¹⁾	Náklady na km [Kč]	Roční náklady [Kč]		
			Nájezd 10 000 km	Nájezd 35 000 km	Nájezd 50 000 km
Škoda Rapid 2017 1.0 TSI 81 kW	30,39 Kč/l	1,40	13 979,40	48 927,90	69 897,00
VW Golf 2017 1.4 TSI 110 kW		1,58	15 802,80	55 309,80	79 014,00

¹⁾ průměrná cena benzínu v ČR v dubnu 2018

Tabulka 22.: Palivové náklady srovnávaných vozidel, vlastní tvorba

4.3 Provozní náklady

V tabulce 23 je srovnání ročních provozních nákladů vozidel. K palivovým nákladům jsou připočteny náklady na údržbu. Z tabulky je patrné, že provoz elektromobilu je méně nákladný a s rostoucím ročním nájezdem se zvyšuje úspora provozních nákladů elektromobilu oproti benzínovým vozidlům. Elektromobil je z ekonomického stránky provozu výhodnější pro uživatele s vyšším ročním nájezdem.

Celkové roční provozní náklady	Roční nájezd		
	10 000 km	35 000 km	50 000 km
Nissan Leaf - režim provozu	3 248,78 Kč	11 007,73 Kč	15 663,09 Kč
Roční údržba (orientačně) ¹⁾	8 200,00 Kč		
Celkem	11 448,78 Kč	19 207,73 Kč	23 863,09 Kč
Škoda Rapid	13 979,40 Kč	48 927,90 Kč	69 897,00 Kč
Roční údržba (orientačně) ¹⁾	11 800,00 Kč		
Celkem	25 779,40 Kč	60 727,90 Kč	81 697,00 Kč
Úspora provozu elektromobilu	14 330,62 Kč	41 520,17 Kč	57 833,91 Kč
Úspora v %	55,59%	68,37%	70,79%

Celkové roční provozní náklady	Roční nájezd		
	10 000 km	35 000 km	50 000 km
Nissan Leaf - režim provozu	3 248,78 Kč	11 007,73 Kč	15 663,09 Kč
Roční údržba (orientačně) ¹⁾	8 200,00 Kč		
Celkem	11 448,78 Kč	19 207,73 Kč	23 863,09 Kč
VW Golf	15 802,80 Kč	55 309,80 Kč	79 014,00 Kč
Roční údržba (orientačně) ¹⁾	11 800,00 Kč		
Celkem	27 602,80 Kč	67 109,80 Kč	90 814,00 Kč
Úspora provozu elektromobilu	16 154,02 Kč	47 902,07 Kč	66 950,91 Kč
Úspora v %	58,52%	71,38%	73,72%

¹⁾ Orientační údaje nákladů pro benzínová vozidla a elektromobily, dle [13]

Tabulka 23.: Provozní náklady srovnávaných vozidel, vlastní tvorba

4.4 TCO náklady vozidel

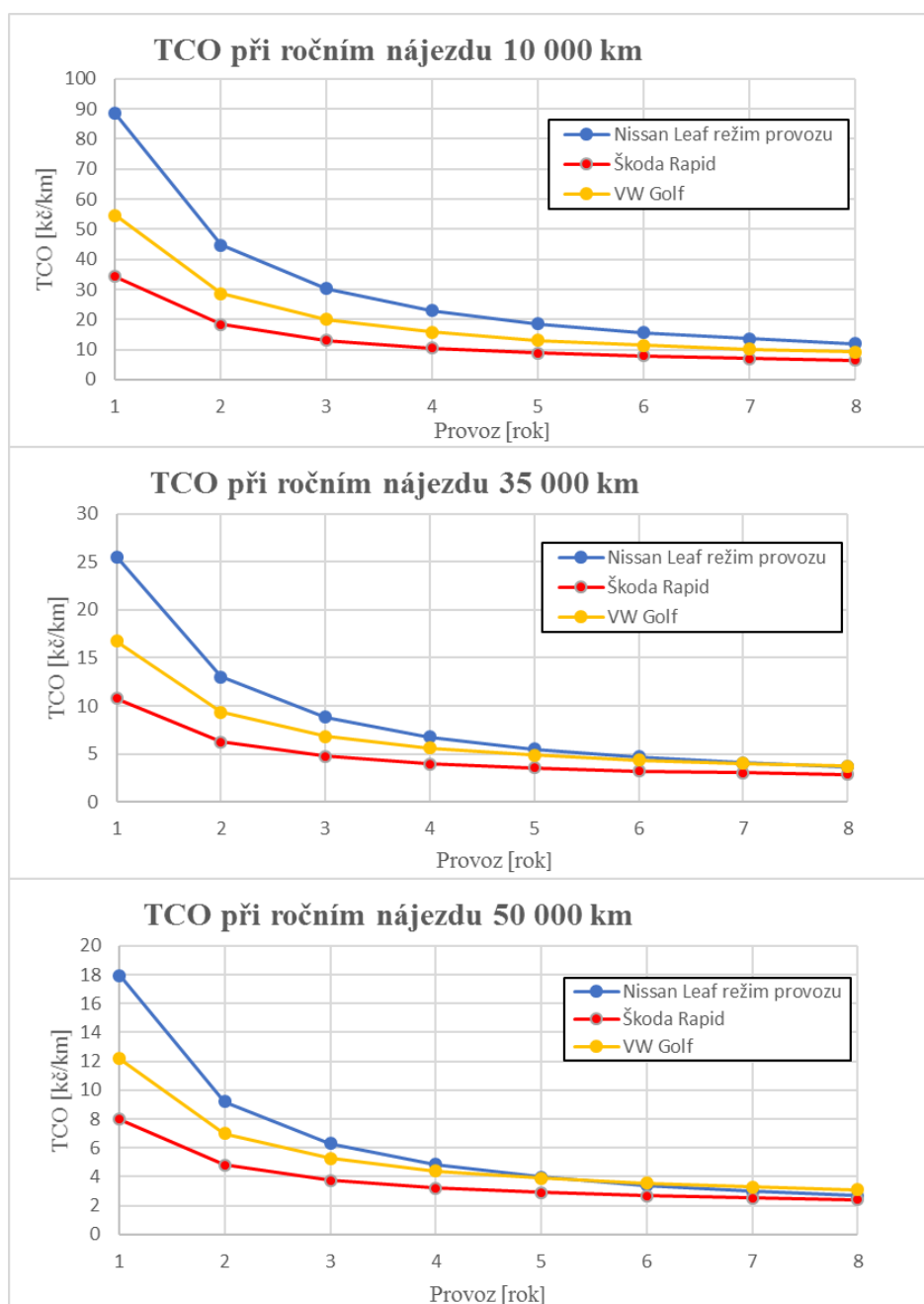
K provozním nákladům jsou připočteny pořizovací náklady vozidel (včetně wallboxu pro elektromobil) a následně vypočteny TCO náklady a TCO náklady na ujetý km v závislosti na době provozu při různých ročních nájezdech. Tyto výsledné údaje jsou v Příloze 1. Na obrázku 28 je zobrazena tato závislost. Z grafu je patrné, že vysoká pořizovací cena elektromobilu výrazně zvyšuje jeho TCO náklady oproti benzínovým vozidlům, a to hlavně v prvních letech provozu. S následujícími roky provozu se TCO náklady elektromobilu přibližují benzínovým vozidlům, a to díky tomu, že nízké provozní náklady elektromobilu postupně kompenzují jeho vysokou pořizovací cenu. Při nižším ročním nájezdu jsou TCO náklady Nissanu Leaf i v průběhu několika let vyšší, obzvláště ve srovnání s levnějším vozidlem, jako je Škoda Rapid. Naopak při vyšším ročním nájezdu jsou TCO náklady Nissanu Leaf ve srovnání s VW Golf v průběhu několika let dokonce nižší. Ze závislostí vyplývá, že současný elektromobil může z ekonomického hlediska konkurovat klasickým vozidlům podobných parametrů při vysokém počtu najetých kilometrů.

Nissan Leaf		Roční nájezd		
		10 000 km	35 000 km	50 000 km
Pořizovací cena	Provoz	TCO [Kč]	TCO [Kč]	TCO [Kč]
850 000,00 Kč				
Náklady na wallbox	1. rok	884 438,78	892 197,73	896 853,09
22 990,00 Kč	2. rok	895 887,56	911 405,45	920 716,19
Režim provozu	3. rok	907 336,34	930 613,18	944 579,28
	4. rok	918 785,12	949 820,91	968 442,38
	5. rok	930 233,89	969 028,63	992 305,47
	6. rok	941 682,67	988 236,36	1 016 168,57
	7. rok	953 131,45	1 007 444,08	1 040 031,66
	8. rok	964 580,23	1 026 651,81	1 063 894,76

Škoda Rapid		Roční nájezd		
		10 000 km	35 000 km	50 000 km
Pořizovací cena	Provoz	TCO [Kč]	TCO [Kč]	TCO [Kč]
316 900,00 Kč				
	1. rok	342 679,40	377 627,90	398 597,00
	2. rok	368 458,80	438 355,80	480 294,00
	3. rok	394 238,20	499 083,70	561 991,00
	4. rok	420 017,60	559 811,60	643 688,00
	5. rok	445 797,00	620 539,50	725 385,00
	6. rok	471 576,40	681 267,40	807 082,00
	7. rok	497 355,80	741 995,30	888 779,00
	8. rok	523 135,20	802 723,20	970 476,00

VW Golf		Roční nájezd		
		10 000 km	35 000 km	50 000 km
Pořizovací cena	Provoz	TCO [Kč]	TCO [Kč]	TCO [Kč]
518 900,00 Kč				
	1. rok	546 502,80	586 009,80	609 714,00
	2. rok	574 105,60	653 119,60	700 528,00
	3. rok	601 708,40	720 229,40	791 342,00
	4. rok	629 311,20	787 339,20	882 156,00
	5. rok	656 914,00	854 449,00	972 970,00
	6. rok	684 516,80	921 558,80	1 063 784,00
	7. rok	712 119,60	988 668,60	1 154 598,00
	8. rok	739 722,40	1 055 778,40	1 245 412,00

Tabulka 24.: Absolutní TCO náklady vozidel v průběhu let a v závislosti na ročním nájezdu, vlastní tvorba



Obrázek 28.: Graf srovnání závislosti TCO [Kč/km] vozidel v průběhu let při různých ročních nájezdech, vlastní tvorba

Při nižším ročním nájezdu budou náklady TCO elektromobilu v průběhu let menší než klasických vozidel, pokud pořizovací ceny nebudou příliš rozdílné (do maximálního rozdílu cca 200 000 Kč). Toto srovnání je pouze orientační. Hodnoty nákladů závisí na reálných spotřebách vozidel, které se odvíjí také od stylu jízdy řidiče. Do těchto nákladů zasahuje také míra vybavenosti a konfigurace vozu podle požadavků uživatele. Každý zákazník má při výběru vozidla specifické nároky, které pro něho představují klíčový faktor při výběru nového vozu.

Vysoká pořizovací cena elektromobilu představuje pro budoucí uživatele největší překážku. Velký rozdíl v cenách elektromobilů a klasických vozidel způsobuje vyšší TCO náklady elektromobilů hlavně v prvních letech provozu a při nízkých nájezdech. Státní dotace na koupi elektromobilu v ostatních zemích pomáhají řešit tento problém. Po snížení rozdílů pořizovacích cen vozidel se projeví nízké provozní náklady elektromobilu. Elektromobil je poté z ekonomické stránky pro uživatele výhodnější než klasické vozidlo.

4.5 Elektromobil pro firemní činnost

Nissan Leaf		Roční nájezd		
		10 000 km	35 000 km	50 000 km
• Původní pořizovací cena	Provoz	TCO [Kč]	TCO [Kč]	TCO [Kč]
850 000,00 Kč				
• Státní dotace 25 %	1. rok	671 938,78	679 697,73	684 353,09
• Snížená pořizovací cena	2. rok	683 387,56	698 905,45	708 216,19
637 500,00 Kč	3. rok	694 836,34	718 113,18	732 079,28
• Náklady na wallbox	4. rok	706 285,12	737 320,91	755 942,38
22 990,00 Kč	5. rok	717 733,89	756 528,63	779 805,47
Režim provozu	6. rok	729 182,67	775 736,36	803 668,57
	7. rok	740 631,45	794 944,08	827 531,66
	8. rok	752 080,23	814 151,81	851 394,76

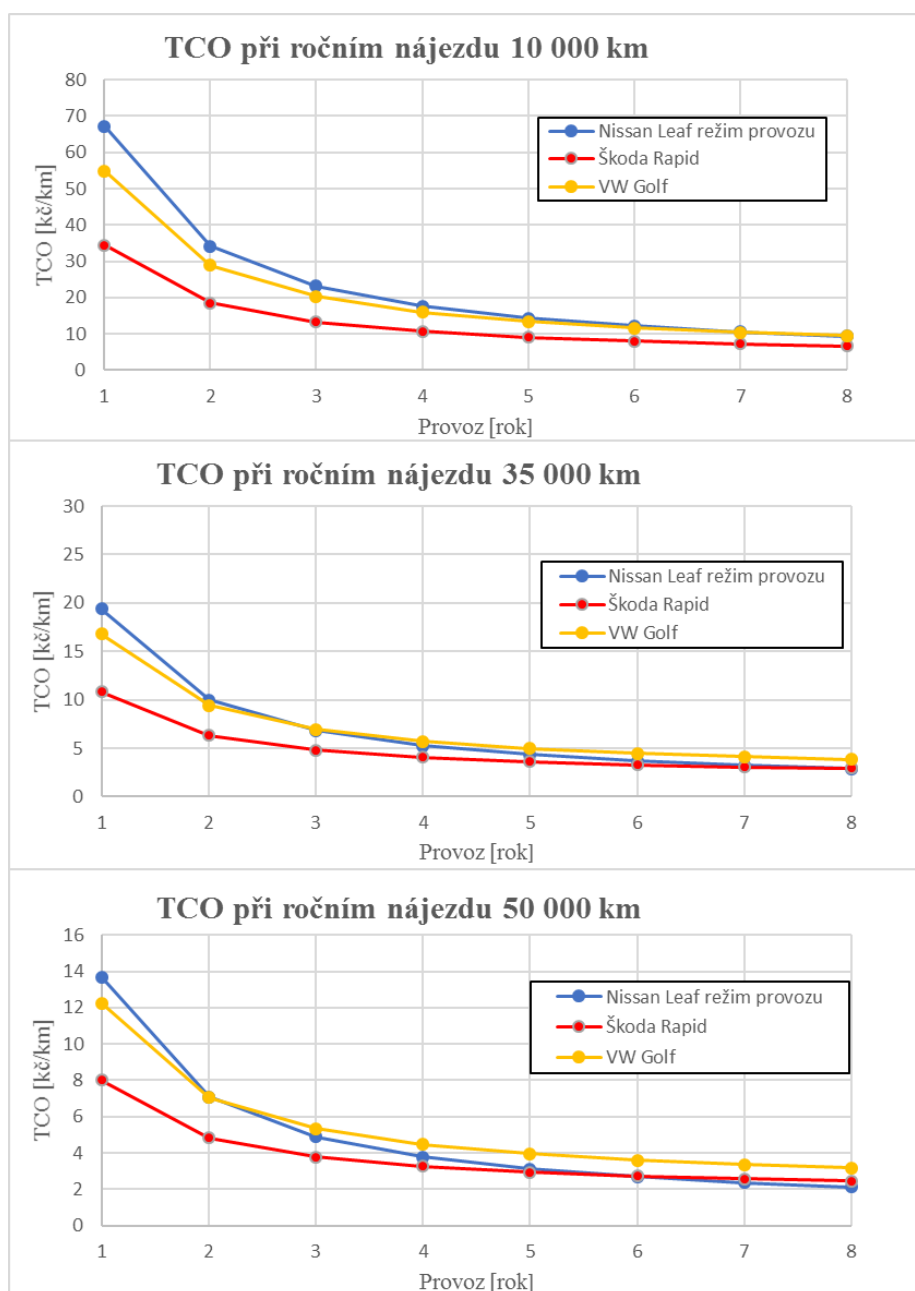
Škoda Rapid		Roční nájezd		
		10 000 km	35 000 km	50 000 km
Pořizovací cena	Provoz	TCO [Kč]	TCO [Kč]	TCO [Kč]
316 900,00 Kč				
	1. rok	344 479,40	379 427,90	400 397,00
	2. rok	372 058,80	441 955,80	483 894,00
	3. rok	399 638,20	504 483,70	567 391,00
	4. rok	427 217,60	567 011,60	650 888,00
	5. rok	454 797,00	629 539,50	734 385,00
	6. rok	482 376,40	692 067,40	817 882,00
	7. rok	509 955,80	754 595,30	901 379,00
	8. rok	537 535,20	817 123,20	984 876,00

VW Golf		Roční nájezd		
		10 000 km	35 000 km	50 000 km
Pořizovací cena	Provoz	TCO [Kč]	TCO [Kč]	TCO [Kč]
518 900,00 Kč				
	1. rok	548 902,80	588 409,80	612 114,00
	2. rok	578 905,60	657 919,60	705 328,00
	3. rok	608 908,40	727 429,40	798 542,00
	4. rok	638 911,20	796 939,20	891 756,00
	5. rok	668 914,00	866 449,00	984 970,00
	6. rok	698 916,80	935 958,80	1 078 184,00
	7. rok	728 919,60	1 005 468,60	1 171 398,00
	8. rok	758 922,40	1 074 978,40	1 264 612,00

Tabulka 25.: Absolutní TCO náklady vozidel pro firemní činnost průběhu let a v závislosti na ročním nájezdu, vlastní tvorba

V této kapitole je proveden výpočet TCO nákladů srovnávaných vozidel při jejich využití pro firemní činnost. Výpočet je proveden stejným způsobem jako v předchozím případě. Provozní náklady benzínových vozidel jsou zvýšeny o silniční daň (roční poplatek 2 400 Kč pro VW Golf a 1 800 Kč pro Škodu Rapid). [30] Výsledné srovnání provozních nákladů je v Příloze 2. Pořizovací cena elektromobilu Nissanu Leaf je snížena

o státní dotaci, která představuje 25 % z pořizovací ceny. Vypočtené TCO náklady vozidel v závislosti na době provozu při různých ročních nájezdech jsou v Příloze 3. Tato závislost je vyobrazena na obrázku 29. TCO náklady Nissanu Leaf jsou i při nižším ročním nájezdu v průběhu let srovnatelné s náklady VW Golf. Při vysokých ročních nájezdech jsou TCO náklady elektromobilu v průběhu let nejnižší. Z ekonomického hlediska představuje pro firemní účely elektromobil výhodnější řešení oproti klasickým vozidlům s podobnými parametry (VW Golf a při vyšším nájezdu i oproti levnější Škodě Rapid).



Obrázek 29.: Graf srovnání závislosti TCO [Kč/km] vozidel pro firemní účely v průběhu let při různých ročních nájezdech, vlastní tvorba

Při tvorbě rozsáhlejšího firemního parku z elektromobilů by bylo pro firmu výhodné zajistit soukromé dobíjení na firemním pozemku. Součástí tohoto řešení by bylo sjednání speciálního tarifu pro odběr elektřiny a zakoupení wallboxů, případně výstavba vlastních dobíjecích stanic. Tato opatření by se promítla do nových TCO nákladů (vyšší vstupní investice a nižší provozní náklady).

Závěr

V této práci byl zhodnocen současný stav elektromobilů a byla provedena analýza jejich trhu. Pomocí SWOT analýzy byla rozebrána pozitiva a negativa spjata s rozšířením elektromobilů v ČR. Dále byly zhodnoceny ekonomické aspekty užívání elektromobilu.

Elektromobily jsou vhodným řešením pro budoucnost osobní dopravy. Poskytují mnoho výhod oproti klasickým vozidlům. Jejich současné rozšíření je limitováno technologickým stavem jejich baterií a stavem dobíjecí infrastruktury. Problém v rozšíření představuje také silné postavení klasických vozidel ve společnosti. Během následujících let by mělo dojít k výrazným pokrokům ve výrobě baterií, a jejich nedostatky by měly být překonány. K budování infrastruktury přispívají i státní složky. Tento problém by měl být také překonán během několika dalších let. Problém může představovat nedůvěra uživatelů v novou technologii. V tomto ohledu je nutné informovat společnost ohledně této problematiky. Nástup elektromobilů na trh osobních vozidel je velmi obtížný, a to hlavně díky jejich vysoké pořizovací ceně a dominantnímu postavení klasických vozidel na trhu. Úspěch BEV na trhu je vázán na vnější faktory, kterými jsou například mechanismy podpor nebo plány k omezování klasických vozidel.

Klasické automobily se nejeví jako budoucí udržitelná varianta dopravy. Elektromobily jsou vhodnou alternativou, která má potenciál splňovat všechny nároky kladené na budoucí dopravu. K jejich rozšíření jsou však nezbytné investice do rozvoje jejich klíčových prvků. Nezbytné jsou také další mechanismy podpor a opatření, které usnadní jejich rozšíření a zdůrazní jejich pozitiva. Díky těmto krokům by mohla společnost vyřešit otázku budoucnosti dopravy v dohledu několika příštích desítek let.

Jelikož je elektromobilita v současnosti velmi aktuálním tématem, lze najít několik námětů pro budoucí práce. Z ekonomické stránky by zajímavým námětem na další práci mohlo být finanční zhodnocení konkrétního firemního vozového parku, který je složen z klasických vozidel, v porovnání s vozovým parkem tvořeným elektromobily. Do zhodnocení by byly započteny konkrétní vozidla vhodná pro firmu, přesné roční nájezdy vozidel, smlouvené firemní náklady pro odběr elektřiny, náklady spojené s dobíjecí infrastrukturou apod. Vhodné by byly firmy operující ve velkých městech s vysokým ročním nájezdem, bez potřeby dlouhé dojezdové vzdálenosti. Z výsledků by mohla být patrná úspora nákladů v dopravním sektoru firmy. Tuto práci by mohla konkrétní firma využít pro své budoucí ekonomické plánování.

Seznam obrázků

Obrázek 1.: Rozdělení elektrických vozidel, vytvořeno dle [2] [3]	12
Obrázek 2.: Schéma vnitřního uspořádání HFCEV – Honda FCX Clarity, zdroj [6] (přeloženo)	13
Obrázek 3.: Zjednodušené schéma PHEV, zdroj [8] (přeloženo)	14
Obrázek 4.: Zjednodušené schéma HEV, zdroj [8] (přeloženo)	14
Obrázek 5.: Typická podoba elektromobilu z roku 1902, zdroj [8]	17
Obrázek 6.: GM EV1, zdroj [8]	20
Obrázek 7.: Zjednodušené schéma vnitřního uspořádání elektromobilu, zdroj [6] (přeloženo, upraveno)	21
Obrázek 8.: Uspořádání hnacího ústrojí elektromobilů, zdroj [12]	22
Obrázek 9.: Pole účinnosti spalovacího motoru (vlevo) a elektromotoru (vpravo), zdroj [1]	23
Obrázek 10.: Energetická cesta pro elektromobil s účinnostmi jednotlivých součástí, zdroj [14] (přeloženo)	24
Obrázek 11.: Podvozek elektromobilu Tesla model S s lithium iontovou baterií, zdroj [16]	26
Obrázek 12.: Graf zobrazující závislost kapacity na době vybíjení pro olověnou baterii s nominální kapacitou 42 Ah, zdroj [6] (přeloženo)	27
Obrázek 13.: Graf srovnání typů baterií podle jejich energetické hustoty, vytvořeno dle [6] [15]	32
Obrázek 14.: Přehled typů konektorů pro dobíjení elektromobilů, zdroj [18]	34
Obrázek 15.: Příklady provedení wallboxů, zdroj [18]	36
Obrázek 16.: Faktory ovlivňující délku dobití elektromobilu, zdroj [18]	36
Obrázek 17.: Systém indukčního nabíjení elektrických vozidel Volvo, zdroj [15]	39
Obrázek 18.: Vývoj ceny lithium-iontových baterií, vytvořeno dle [24]	41
Obrázek 19.: Vývoj počtu dobíjecích míst, zdroj [3] (přeloženo)	43
Obrázek 20.: Rozložení veřejných stanic v jednotlivých zemích v roce 2016, zdroj [3] (přeloženo, země v originále)	44
Obrázek 21.: Srovnání provozních emisních zátěží vozidel v závislosti na energetickém mixu pro rok 2015 a odhad provozní emisní zátěže elektrických vozidel v roce 2030, zdroj [3]	46

Obrázek 22.: Vývoj počtu BEV a PHEV v jednotlivých zemích, zdroj [3] (přeloženo)	52
Obrázek 23.: Vývoj prodeje EV ve vybraných zemích, zdroj [3] (přeloženo, upraveno)	52
Obrázek 24.: Vývoj prodeje EV a BEV v ČR, vytvořeno dle [29]	61
Obrázek 25.: Pokles ceny baterie a očekávaný vývoj prodeje elektromobilů v ČR, zdroj [39]	61
Obrázek 26.: Nejprodávanější modely elektromobilů v ČR za rok 2017, vytvořeno dle [29]	62
Obrázek 27.: Energetický mix ČR v roce 2016, vytvořeno dle [40]	63
Obrázek 28.: Graf srovnání závislostí TCO [Kč/km] vozidel v průběhu let při různých ročních nájezdech, vlastní tvorba	69
Obrázek 29.: Graf srovnání závislostí TCO [Kč/km] vozidel pro firemní účely v průběhu let při různých ročních nájezdech, vlastní tvorba	71

Seznam tabulek

Tabulka 1.: Pozitiva a negativa technického řešení elektromobilů ve srovnání s vozidly se spalovacími motory, zpracováno dle [1] [12] [13]	22
Tabulka 2.: Přibližné porovnání různých koncepcí elektromotorů, zdroj [1]	24
Tabulka 3.: Parametry olověných baterií v elektromobilech, zpracováno dle [6] [12]	29
Tabulka 4.: Parametry nikl-kadmiových baterií v elektromobilech, zpracováno dle [6] [12]	30
Tabulka 5.: Parametry nikl-metalhydridových baterií v elektromobilech, zpracováno dle [6] [12]	30
Tabulka 6.: Parametry lithium-iontových baterií v elektromobilech, zpracováno dle [6] [12]	31
Tabulka 7.: Orientační porovnání modelů dobíjení, zpracováno dle [18]	37
Tabulka 8.: Příklad tarifu pro domácí dobíjení elektromobilu od skupiny ČEZ v balíčku Elektřina pro dobíjení a cena wallboxu od společnosti ČEZ (ceny jsou uvedeny včetně DPH), zdroj [19]	37
Tabulka 9.: Příklad cen dobíjení na veřejných stanicích v ČR (ceny jsou včetně DPH), zdroj [19] [20]	38
Tabulka 10.: Přehled emisí pro rozdílné zdroje elektrické energie, zpracováno dle [14]	45
Tabulka 11.: Limity udávané normou Euro 6 pro vozidla se spalovacím motorem, zpracováno dle [26]	47
Tabulka 12.: Státní dotace při nákupu elektromobilu ve vybraných zemích, zpracováno dle [27] [29]	50
Tabulka 13.: Srovnání stavu EV ve vybraných evropských zemích pro rok 2017, zpracováno dle [29]	54
Tabulka 14.: Vývoj veřejných dobíjecích stanic ve vybraných evropských zemích, zpracováno dle [29]	54
Tabulka 15.: Nejprodávanejší elektromobily v Evropě v roce 2017, zpracováno dle [29]	55
Tabulka 16.: Nejprodávanejší elektromobily v Číně v roce 2017, zpracováno dle [31]	55
Tabulka 17.: Nejprodávanejší elektromobily v USA v roce 2017, zpracováno dle [32]	55

Tabulka 18.: Srovnání nejprodávanějších elektromobilů v Evropě, zpracováno dle [33]	56
Tabulka 19.: Cíle automobilových společností v rámci elektromobility, zpracováno dle [3]	58
Tabulka 20.: SWOT analýza elektromobilů pro trh v České republice, vlastní tvorba	59
Tabulka 21.: Parametry srovnávaných vozidel, vytvořeno dle [42] [43] [44]	66
Tabulka 22.: Palivové náklady srovnávaných vozidel, vlastní tvorba	67
Tabulka 23.: Provozní náklady srovnávaných vozidel, vlastní tvorba	67
Tabulka 24.: Absolutní TCO náklady vozidel v průběhu let a v závislosti na ročním nájezdu, vlastní tvorba	68
Tabulka 25.: Absolutní TCO náklady vozidel pro firemní činnost průběhu let a v závislosti na ročním nájezdu, vlastní tvorba	70

Seznam příloh

Příloha 1.: TCO srovnávaných vozidel	I
Příloha 2.: Provozní náklady vozidel pro firemní účely	II
Příloha 3.: TCO pro firemní činnost srovnávaných vozidel	III

Seznam symbolů a zkratek

BEV	Battery electric vehicles (elektromobily, elektrická vozidla na baterie)
EV	Electric vehicles (elektrická vozidla)
HEV	Hybrid electric vehicles (hybridy)
(H)FCEV	(Hydrogen) fuel cell electric vehicles (elektromobily s {vodíkovými} palivovými články)
PHEV	Plug-in hybrid electric vehicles (plug-in hybridy)
PEV	Plug-in electric vehicles (Plug-in elektrická vozidla)
PSA	Peugeot Citroen Asociation
AC	střídavý proud
DC	stejnoseměrný proud
WTT	Well to tank (přechod elektřiny z elektrárny po nabití baterie)
TTW	Tank to wheels (přechod elektřiny z baterie k pohonu vozidla)
mph	míle za hodinu
BMS	battery management system
IEA	International Energy Agency – Mezinárodní energetická agentura
EU	Evropská unie
Hp	Horsepower (koňská síla)
TCO	Total cost of ownership

Seznam použité literatury

- [1] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [2] Electric Vehicles. *Union of Concerned Scientists* [online]. 2 Brattle Square, Cambridge: UCS, ©2018, červen 2017 [cit. 2018-03-09]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles#.WqLgQmrOWpo>
- [3] Global EV Outlook 2017: Two million and counting. In: *International Energy Agency* [online]. OECD/IEA, ©2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/GlobalEVOutlook2017.pdf>
- [4] Pro elektrotechniky - Jak fungují elektromobily. *Proelektrotechniky.cz: elektrotechnika pro odborníky* [online]. Říčany u Prahy: Ing. Jakub Slavík, MBA, ©2012-2017 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/vzdelavani/25.php>
- [5] How Do Hydrogen Fuel Cell Vehicles Work?. *Union of Concerned Scientists* [online]. 2 Brattle Square, Cambridge: UCS, ©2018 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-hydrogen-fuel-cells-work#.WqLgWmrOWpq>
- [6] LARMINIE, James a John LOWRY. *Electric vehicle technology explained*. 2nd ed. Chichester GB: Wiley, 2012. ISBN 978-111-9942-733.
- [7] How Do Plug-in Hybrid Electric cars work?. *Union of Concerned Scientists* [online]. 2 Brattle Square, Cambridge: UCS, ©2018 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/electric-vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work#.WqLocGrOWpo>
- [8] History of electric cars. In: *Advanced Vehicle Testing Activity: Idaho National Laboratory* [online]. Idaho Falls, ID 83415: INL, ©2018 [cit. 2018-02-21]. Dostupné z: <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/fsev/HistoryOfElectricCars.pdf>

- [9] HØYER, Karl Georg. The history of alternative fuels in transportation: The case of electric and hybrid cars. *Utilities Policy*. 2008, **16**(2), 63-71. ISSN 0957-1787.
- [10] JAROMÍR, Vegr. Elektromobily – historie a současnost. *PRO-ENERGY magazin*. 2008, **2008**(3), 44-50.
- [11] KUKREJA, Rinkesh. How Electric Cars Work. *Conserve Energy Future* [online]. Earth Eclipse, ©2018 [cit. 2018-02-27]. Dostupné z: <https://www.conserve-energy-future.com/howelectriccarswork.php>
- [12] MANZETTI, Sergio. Electric vehicle battery technologies: From present state to future systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015, **51**(11), 1004-1012. ISSN 1364-0321;1879-0690;.
- [13] Národní akční plán čisté mobility: (NAP CM). In: *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. MPO, ©2015-2018, říjen 2015 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/54377/62106/640972/priloha001.pdf>
- [14] FARIA, Ricardo et al. Impact of the electricity mix and use profile in the life-cycle assessment of electric vehicles. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013, **24**, 271-287. ISSN 1364-0321.
- [15] *Perspektivy elektromobility: příloha časopisů Elektro a Automa 2012*. FCC public, 2012, (3). ISSN ISSN 1210-0889.
- [16] VOELCKER, John. Electric-car battery costs: Tesla \$190 per kwh for pack, GM \$145 for cells. In: *Green Car Reports: The ultimate guide to cleaner, green driving* [online]. Internet Brands Automotive Group, ©2018 [cit. 2018-04-11]. Dostupné z: https://www.greencarreports.com/news/1103667_electric-car-battery-costs-tesla-190-per-kwh-for-pack-gm-145-for-cells
- [17] Tesla Gigafactory. *Tesla* [online]. ©2018 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/gigafactory?redirect=no>
- [18] Elektromobilita - osvětový materiál. In: *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, ©2008-2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/\\$FILE/SOPS_ZP-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/cista_mobilita_seminar/$FILE/SOPS_ZP-Elektro_osvetovy_material-20171031.pdf)
- [19] *Elektromobilita: Skupina ČEZ* [online]. b.r. [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.elektromobilita.cz/>

- [20] Podmínky nabíjení vozidel. *PREmobilita* [online]. Pražská energetika, a.s., ©2015 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.premobilita.cz/cs/nabijeni/podminky-nabijeni-vozidel/>
- [21] Supercharger. *Tesla* [online]. Tesla, ©2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: https://www.tesla.com/en_GB/supercharger?redirect=no
- [22] *Battswap* [online]. Menlo Park CA USA: Battswap CZ s.r.o, ©2018 [cit. 2018-04-17]. Dostupné z: <http://battswap.com/>
- [23] *Tesla* [online]. Tesla, ©2018 [cit. 2018-04-18]. Dostupné z: https://www.tesla.com/en_GB/
- [24] CURRY, Claire. Lithium-ion battery costs and Market. In: *Bloomberg New Energy Finance* [online]. Bloomberg Finance L.P., ©2018 [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/07/BNEF-Lithium-ion-battery-costs-and-market.pdf>
- [25] MAHMOUDZADEH, Andwari a AMIN ET AL. A review of Battery Electric Vehicle technology and readiness levels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, **78**, 414-430. ISSN 1364-0321.
- [26] Euro Standarts. *ACEA: European Automobile Manufacturers Association* [online]. B-1040 Brussels Belgium: ACEA, ©2018 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.acea.be/industry-topics/tag/category/euro-standards>
- [27] NOVOTNÝ, Petr. Žádné daně nebo mýtné. Podpora elektromobility u nás a ve světě. *Obnovitelně.cz* [online]. RENARDS Dotační, S.r.o., ©2017, 13. září 2017 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/146/zadnedane-nebo-mytne-podpora-elektromobility-u-nas-a-ve-svete/>
- [28] Dotace na elektromobily a nízkouhlíkové technologie. *OPPIK: Informační portál o dotacích pro podnikatele* [online]. enovation s.r.o., b.r. [cit. 2018-05-29]. Dostupné z: <http://www.oppik.cz/dotacni-programy/nizkoughlikove-technologie>
- [29] *EAFO: European alternative fuels observatory* [online]. Brusel: EAFO Secretariat, ©2018 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: <http://www.eafo.eu/>
- [30] Zákon o dani silniční. *Business.center.cz* [online]. Internet Info s. r. o., ©2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <https://business.center.cz/business/pravo/zakony/silnicnidan/zakon.aspx>

- [31] 2017 Electric Car Sales — Us, China, Europe (Month By Month). *EV Obsession* [online]. Sustainable Enterprises Media, Inc., ©2018, 4. 3. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://evobsession.com/2017-electric-car-sales-us-china-europe-month-month/>
- [32] Top US EV Sales Trends from 2017. *EV Adoption* [online]. EV Adoption, ©2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://evadoption.com/top-us-ev-sales-trends-from-2017/>
- [33] *EV Database UK: Compare hybrid and electric vehicles* [online]. EV Database, ©2018 [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <https://ev-database.uk/>
- [34] NEDC: Slovník pojmů. *Elektrina.cz* [online]. Ušetřeno.cz, ©2014-2018 [cit. 2018 05-02]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/slovník/nedc>
- [35] KIM, Tae. Tesla's 'day of reckoning' is near as its plunging stock increases financing risk. *CNBC International* [online]. CNBC LLC., ©2018, 3. 3. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <https://www.cnbc.com/2018/03/30/teslas-day-of-reckoning-is-near-as-its-plunging-stock-increases-risk.html>
- [36] Pařížská dohoda. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Ministerstvo životního prostředí, ©2008-2018 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/parizska_dohoda
- [37] SWOT analýza. *Management Mania: Sociální síť pro business* [online]. ManagementMania.com, © 2011-2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/swot-analyza>
- [38] První registrace vozidel v ČR – souhrnné údaje. *SAP: Sdružení automobilového průmyslu* [online]. SDRUŽENÍ AUTOMOBILOVÉHO PRŮMYSLU, ©2013 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: http://www.autosap.cz/zakladni-prehledy-a-udaje/prvni-registrace-vozidel/#registrace_2017
- [39] CHMELÍK, Tomáš. ELEKTROMOBILITA PRO FIREMNÍ VOZOVÝ PARK. In: *Smart city v praxi* [online]. MBA – Consulting Services, ©2012-2017, 3. 10. 2017 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: http://www.smartcityvpraxi.cz/prezentace/Konference_EmobilitaII/Chmelik_Elektromobilita_fleety_CEZ.pdf

- [40] Národní energetický mix. *OTE* [online]. OTE a.s., ©2010 [cit. 2018-05-09].
Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [41] Náklady na provoz a údržbu elektromobilu. *EV EXPERT: EV produkty na prodej* [online]. EVEXPERT.CZ, ©2016 [cit. 2018-05-20]. Dostupné z: <https://www.evexpert.cz/rady-a-tipy-zajimavosti-novinky-informace-evexpert/elektromobilita/naklady-na-provoz-a-udrzbu-elektromobilu>
- [42] PULTZNER, Martin. Test Nový Nissan Leaf: Podrobné první dojmy z Tenerife. *FDrive.cz* [online]. 24net s.r.o., ©2018 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/test-novy-nissan-leaf-nase-podrobne-prvni-dojmy-z-tenerife-1984>
- [43] KOLMAN, Stanislav. Škoda Rapid Spaceback 1.0 TSI 81 kW: Jak málo stačí. *Auto.cz* [online]. CZECH NEWS CENTER a.s., ©2018, 16. 8. 2017 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-skoda-rapid-spaceback-1-0-tsi-81-kw-jak-malo-staci-109183?cast=3-Zaver>
- [44] Volkswagen Golf. *Vybermiauto.cz: Nejlepší pomocník při výběru nového auta* [online]. Economia a.s., © 2016-2018 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: <https://www.vybermiauto.cz/katalog/volkswagen/golf-5dv>

Příloha 1

Nissan Leaf		Roční nájezd 10 000 km			Roční nájezd 35 000 km			Roční nájezd 50 000 km			
		Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	
Pořizovací cena	850 000,00 Kč										
Náklady na wallbox	22 990,00 Kč										
Režim provozu	Provoz	1. rok	11 448,78	884 438,78	88,44	19 207,73	892 197,73	25,49	23 863,09	896 853,09	17,94
		2. rok	22 897,56	895 887,56	44,79	38 415,45	911 405,45	13,02	47 726,19	920 716,19	9,21
		3. rok	34 346,34	907 336,34	30,24	57 623,18	930 613,18	8,86	71 589,28	944 579,28	6,30
		4. rok	45 795,12	918 785,12	22,97	76 830,91	949 820,91	6,78	95 452,38	968 442,38	4,84
		5. rok	57 243,89	930 233,89	18,60	96 038,63	969 028,63	5,54	119 315,47	992 305,47	3,97
		6. rok	68 692,67	941 682,67	15,69	115 246,36	988 236,36	4,71	143 178,57	1 016 168,57	3,39
		7. rok	80 141,45	953 131,45	13,62	134 454,08	1 007 444,08	4,11	167 041,66	1 040 031,66	2,97
		8. rok	91 590,23	964 580,23	12,06	153 661,81	1 026 651,81	3,67	190 904,76	1 063 894,76	2,66
Roční náklady			316 900,00 Kč								
Roční nájezd 10 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]
Roční nájezd 35 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]
Roční nájezd 50 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]
Škoda Rapid											
Pořizovací cena	316 900,00 Kč										
Režim provozu	Provoz	1. rok	25 779,40	342 679,40	34,27	60 727,90	377 627,90	10,79	81 697,00	398 597,00	7,97
		2. rok	51 558,80	368 458,80	18,42	121 455,80	438 355,80	6,26	163 394,00	480 294,00	4,80
		3. rok	77 338,20	394 238,20	13,14	182 183,70	499 083,70	4,75	245 091,00	561 991,00	3,75
		4. rok	103 117,60	420 017,60	10,50	242 911,60	559 811,60	4,00	326 788,00	643 688,00	3,22
		5. rok	128 897,00	445 797,00	8,92	303 639,50	620 539,50	3,55	408 485,00	725 385,00	2,90
		6. rok	154 676,40	471 576,40	7,86	364 367,40	681 267,40	3,24	490 182,00	807 082,00	2,69
		7. rok	180 455,80	497 355,80	7,11	425 095,30	741 995,30	3,03	571 879,00	888 779,00	2,54
		8. rok	206 235,20	523 135,20	6,54	485 823,20	802 733,20	2,87	653 576,00	970 476,00	2,43
Roční náklady			316 900,00 Kč								
Roční nájezd 10 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]
Roční nájezd 35 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]
Roční nájezd 50 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]
VW Golf											
Pořizovací cena	518 900,00 Kč										
Režim provozu	Provoz	1. rok	27 602,80	546 502,80	54,65	67 109,80	586 009,80	16,74	90 814,00	609 714,00	12,19
		2. rok	55 205,60	574 105,60	28,71	134 219,60	653 119,60	9,33	181 628,00	700 528,00	7,01
		3. rok	82 808,40	601 708,40	20,06	201 329,40	720 229,40	6,86	272 442,00	791 342,00	5,28
		4. rok	110 411,20	629 311,20	15,73	268 439,20	787 339,20	5,62	363 256,00	882 156,00	4,41
		5. rok	138 014,00	656 914,00	13,14	335 549,00	854 449,00	4,88	454 070,00	972 970,00	3,89
		6. rok	165 616,80	684 516,80	11,41	402 658,80	921 558,80	4,39	544 884,00	1 063 784,00	3,55
		7. rok	193 219,60	712 119,60	10,17	469 768,60	988 668,60	4,04	635 698,00	1 154 598,00	3,30
		8. rok	220 822,40	739 722,40	9,25	536 878,40	1 055 778,40	3,77	726 512,00	1 245 412,00	3,11
Roční náklady			518 900,00 Kč								
Roční nájezd 10 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]
Roční nájezd 35 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]
Roční nájezd 50 000 km			Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO [Kč]	TCO na km [Kč]

Příloha 1.: TCO srovnávaných vozidel

Příloha 2

Celkové roční provozní náklady	Roční nájezd		
	10 000 km	35 000 km	50 000 km
Nissan Leaf - režim provozu	3 248,78 Kč	11 007,73 Kč	15 663,09 Kč
Roční údržba (orientačně) ¹⁾	8 200,00 Kč		
Silniční daň ²⁾	0,00 Kč		
Celkem	11 448,78 Kč	19 207,73 Kč	23 863,09 Kč
VW Golf	15 802,80 Kč	55 309,80 Kč	79 014,00 Kč
Roční údržba (orientačně) ¹⁾	11 800,00 Kč		
Silniční daň ²⁾	2 400,00 Kč		
Celkem	30 002,80 Kč	69 509,80 Kč	93 214,00 Kč
Úspora provozu elektromobilu	18 554,02 Kč	50 302,07 Kč	69 350,91 Kč
Úspora v %	61,84%	72,37%	74,40%

Celkové roční provozní náklady	Roční nájezd		
	10 000 km	35 000 km	50 000 km
Nissan Leaf - režim provozu	3 248,78 Kč	11 007,73 Kč	15 663,09 Kč
Roční údržba (orientačně) ¹⁾	8 200,00 Kč		
Silniční daň ²⁾	0,00 Kč		
Celkem	11 448,78 Kč	19 207,73 Kč	23 863,09 Kč
Škoda Rapid	13 979,40 Kč	48 927,90 Kč	69 897,00 Kč
Roční údržba (orientačně) ¹⁾	11 800,00 Kč		
Silniční daň ²⁾	1 800,00 Kč		
Celkem	27 579,40 Kč	62 527,90 Kč	83 497,00 Kč
Úspora provozu elektromobilu	16 130,62 Kč	43 320,17 Kč	59 633,91 Kč
Úspora v %	58,49%	69,28%	71,42%

¹⁾ Orientační údaje nákladů pro benzínová vozidla a elektromobily, dle [13]

²⁾ Dle [30]

Příloha 2.: Provozní náklady vozidel pro firemní účely

Příloha 3

Nissan Leaf	Roční nájezd 10 000 km		Roční nájezd 35 000 km		Roční nájezd 50 000 km	
	Provozní náklady [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO na km [Kč]	Provozní náklady [Kč]	TCO na km [Kč]
• Původní pořizovací cena 850 000,00 Kč						
• Státní dotace 25 %						
• Snížená pořizovací cena						
• Náklady na wallbox						
• Režim provozu						
• Škoda Rapid						
• Pořizovací cena 316 900,00 Kč						
• Provoz						
1. rok	27 579,40	34,45	62 527,90	379 427,90	83 497,00	400 397,00
2. rok	55 158,80	18,60	125 055,80	441 955,80	166 994,00	483 894,00
3. rok	82 738,20	13,32	187 583,70	504 483,70	250 491,00	567 391,00
4. rok	110 317,60	10,68	250 111,60	567 011,60	333 988,00	650 888,00
5. rok	137 897,00	9,10	312 639,50	629 539,50	417 485,00	734 385,00
6. rok	165 476,40	8,04	375 167,40	692 067,40	500 982,00	817 882,00
7. rok	193 055,80	7,29	437 695,30	754 595,30	584 479,00	901 379,00
8. rok	220 635,20	6,72	500 223,20	817 123,20	667 976,00	984 876,00
• VW Golf						
• Pořizovací cena 518 900,00 Kč						
• Provoz						
1. rok	30 002,80	54,89	69 509,80	588 409,80	93 214,00	612 114,00
2. rok	60 005,60	28,95	139 019,60	657 919,60	186 428,00	705 328,00
3. rok	90 008,40	20,30	208 529,40	727 429,40	279 642,00	798 542,00
4. rok	120 011,20	15,97	278 039,20	796 939,20	372 856,00	891 756,00
5. rok	150 014,00	13,38	347 549,00	866 449,00	466 070,00	984 970,00
6. rok	180 016,80	11,65	417 058,80	935 958,80	559 284,00	1 078 184,00
7. rok	210 019,60	10,41	486 568,60	1 005 468,60	652 498,00	1 171 398,00
8. rok	240 022,40	9,49	556 078,40	1 074 978,40	745 712,00	1 264 612,00

Příloha 3.: TCO pro firemní činnost srovnávaných vozidel