

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika

Katedra: Zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Technická a ekonomická komparace automobilu s elektrickým a spalovacím motorem

Autor: Bc. Jan Matějka

Vedoucí práce: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

Konzultant práce: Mgr. Pavel Černý

České Budějovice 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů, literatury a dalších zdrojů uvedených v seznamu použitých zdrojů. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích:

.....
Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval svému konzultantovi, panu Mgr. Pavlovi Černému za trpělivost, odborné vedení, podnětné rady a vstřícný přístup. Mé poděkování patří také doc. RNDr. Petru Bartošovi, Ph.D. za cenné rady a odborné vedení a v neposlední řadě také panu Ing. Ivo Celjakovi, CSc. za poskytnutí podkladových materiálů a odbornou konzultaci na problematiku daného tématu. Poděkovat bych chtěl rovněž své rodině za důvěru a zapůjčení testovaných vozidel.

Anotace

Tato práce se zaměřuje na porovnání elektrického pohonu a pohonu se spalovacím motorem. Literární přehled přibližuje historii a počátky prvních pokusů o vozidlo na elektrickou energii, které sahají již do poloviny 19. století. Dále jsou zde představeny druhy elektrických motorů, které se v pohonech používají. Velká pozornost je věnována různým druhům akumulátorů a jejich nabíjení. Poslední kapitola teoretické části obsahuje ekologické aspekty provozu a výroby elektrické energie k pohonu elektromobilu. Praktická část práce se zabývá dvěma oblastmi, a to technickou částí, kde jsou porovnávány jízdní vlastnosti, komfort, hluková zátěž a praktičnost vozidel BMW i3 a Renault Clio. Dále ekonomickou částí, která je zaměřena zejména na provozní náklady a výhodnost pořízení testovaných vozidel.

Klíčová slova: elektromobil, elektromotor, akumulátory, nabíjení, životní prostředí

Annotation

This master thesis is focused on the comparison of electric drive and drive with an internal combustion engine. The literary overview shows the history and beginnings of the first attempts to create a vehicle with an electric energy. This all goes back to the half of 19th century. In this thesis are also included types of electric engines which are used in drives. Great attention is focused on the several types of accumulators and their charging. The last chapter in the theoretical part is dedicated to the ecological aspect of commission and the production of electric energy which is used to the drive of the electric car. The second, practical, part deals with two levels. Concretely with the technical part where are compared the on-road performance, comfort, noise and functionality of the BMW i3 and Renault Clio. Another economical part which is focused mainly on the operating costs and the affordability of vehicles which were tested.

Key words: electric car, electric motor, accumulators, charging, environment

Obsah

ÚVOD	8
CÍLE PRÁCE	9
1 HISTORICKÝ VÝVOJ ELEKTROMOBILU	10
1.1 Historický vývoj v zahraničí	13
1.2 Historický vývoj v ČR.....	19
2 KONCEPCE ELEKTROMOBILU	25
2.1 Elektromotor.....	26
2.1.1 Střídavé motory.....	26
2.1.2 Stejnoseměrné motory	28
2.2 Akumulátory.....	30
2.2.1 Olověné akumulátory.....	30
2.2.2 Alkalické akumulátory.....	31
2.2.3 Lithiové akumulátory.....	32
2.2.4 Sodíkové akumulátory	34
2.3 Předpokládaný vývoj zdrojů elektrické energie	35
3 NABÍJENÍ ELEKTROMOBILU	38
3.1 Rozdělení dle různých parametrů.....	38
3.1.1 Nabíjecí proud.....	38
3.1.2 Způsob připojení a výměny	39
3.1.3 Typy napájecích konektorů.....	41
3.1.4 Rychlost nabíjení	44
3.2 Síť nabíjecích stanic v ČR.....	45
4 EKOLOGIE ELEKTRICKÉHO POHONU	46
4.1 Výroba elektrické energie v ČR.....	46
4.2 Emise CO ₂	48

5 MATERIÁL A METODIKA	51
5.1 Porovnávaná vozidla	51
5.1.1 BMW i3	51
5.1.2 Renault Clio III	53
5.2 Metodika měření	55
5.2.1 Metodika pro BMW i3.....	55
5.2.2 Metodika pro Renault Clio III	58
6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	60
7 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ	65
7.1 Technické aspekty	65
7.1.1 Jízdní vlastnosti.....	65
7.1.2 Komfort.....	65
7.1.3 Zavazadlový prostor	66
7.1.4 Výbava	67
7.1.5 Hluk	69
7.2 Ekonomické aspekty	69
7.2.1 Cena	69
7.2.2 Spotřeba	70
7.2.3 návratnost.....	73
ZÁVĚR.....	75
POUŽITÉ ZDROJE	76

ÚVOD

Globální problém 21. století je bezesporu stále rychle rostoucí znečištění životního prostředí, které je spojeno se vznikem skleníkového efektu a oteplováním planety. Problém se netýká pouze planety jako takové, ale celého žijícího ekosystému, a proto je zapotřebí snižovat tuto ekologickou zátěž na co možná nejmenší podíl. Jsme to právě my, lidé, co si vědomě ničíme Zemi, na které žijeme.

Jedním z problémů, které přispívají ke znečišťování, jsou dopravní prostředky, a to nejen osobní, ale také třeba nákladní. Všeobecně se to týká jakéhokoliv prostředku, který ke svému pohonu využívá spalovacího motoru na fosilní paliva, zejména, pak paliva vyrobená z ropy. Při spalování vzniká spousta škodlivých plynů a prachových částic, které jsou vypouštěny do ovzduší a mění tak přirozené složení atmosféry.

Reakcí na tuto situaci vzniká snaha o nahrazení spalovacích motorů jinou pohonnou jednotkou na „čistou energii“, ke které patří v současné době výhradně elektrická energie z obnovitelných zdrojů. Nejslibnějším pohonem je tak v současnosti elektrický motor, který má oproti konvenčním motorům řadu výhod, a to jak svojí jednodušší konstrukci, tak i vyšší výkon a točivý moment při nižších otáčkách motoru. Problém však zůstává v dostatečně velkém uskladnění elektrické energie k pohonu motoru. Výzkum a vývoj tak klade důraz zejména na prodloužení životnosti a zvětšování kapacity uložště, které je v automobilech realizováno jako akumulátor elektrické energie. Má však také své nevýhody, jedná se o tzv. nepřímé emise, které vznikají při výrobě elektrické energie dodávané distribučními sítěmi. Jízda je tedy zdánlivě čistá a bez emisí, je třeba si však uvědomit, jak tato energie vzniká.

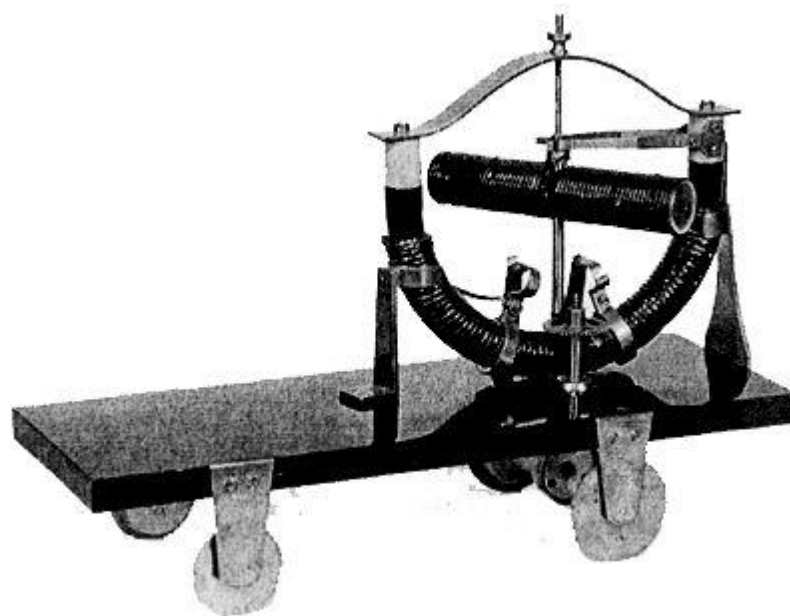
CÍLE PRÁCE

Tato práce se zabývá porovnáním dvou vozidel s odlišnými druhy pohonných jednotek. První vůz má konvenční zážehový motor a druhý elektromotor, který se nyní považuje za budoucnost nového pohonu. Úkolem je porovnat jejich vlastnosti a výhodnost pořízení v současné době. Cíle práce lze shrnout do následujících bodů:

- Zvolení vhodných vozidel s podobnými parametry a dostupností k zapůjčení na praktické měření.
- Výběr porovnávaných parametrů s ohledem na objektivitu hodnocení.
- Návrh vhodné metodiky měření spotřeby paliva nebo elektrické energie obou vozidel.
- Analýza prakticky naměřených výsledků.
- Porovnání technických a ekonomických vlastností vozidel.

1 HISTORICKÝ VÝVOJ ELEKTROMOBILU

Jako prvním předpokladem k vynálezu automobilu s elektrickým pohonem byl vynález elektrického článku, tzv. akumulátoru a elektromotoru samotného. Akumulátor slouží jako „nádrž na elektrickou energii“ a uchovává elektrický náboj, který dále zajišťuje pohyb automobilu. První použitelný zdroj stálého elektrického proudu vzniká již v roce 1800 pod vedením italského fyzika Alessandra Volta, po kterém je pojmenován Voltův článek. Tento fyzik je proslulý zejména svými objevy v oboru elektřiny. V první polovině 19. století se řada fyziků intenzivně zabývala rozvojem zákonitostí mezi elektřinou a magnetizmem. Zde jako první přichází na vzájemné vazby anglický chemik a fyzik Michael Faraday, který objevuje elektromagnetickou indukci, magnetické a elektrické siločáry. Faraday tak ve své laboratoři dává základ pro vznik elektricky poháněných strojů. První historicky doložitelný model elektromotoru pochází z dílny uherského fyzika Štefana Aniána Jedlika. V letech 1827 - 1829 zkonstruoval primitivní elektromotor (viz obr. 1.1), ve kterém pevnou a otáčející se část tvořily elektromagnety, komutátorová část pak byla rtuťová [1, 2].



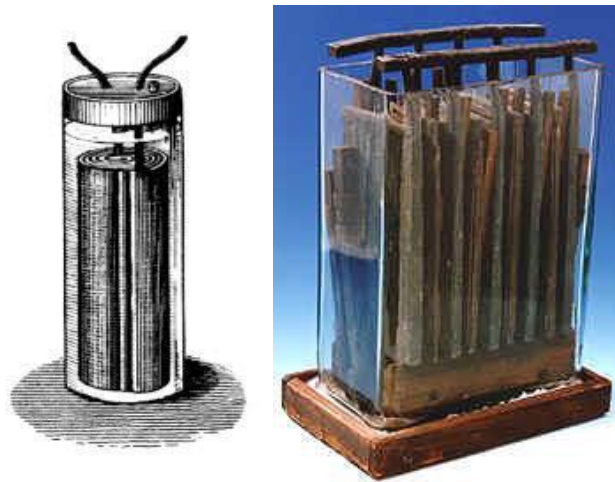
Obrázek 1.1: Model prvního elektrického motoru od Ányose Jedlika [3]

Elektromotor se objevuje v praktickém využití až v roce 1834, kde měl sloužit k pohonu lodi. První funkční elektromobil vzniká v roce 1835 sestrojený holandským profesorem Sibrandusem Stratingham. S pomocí Stratinghmanova asistenta Christophera Beckera vzniká malý elektrický vozík (viz obr. 1.2). Roku 1941 však Stratinghman umírá a tím končí jeho vývoj v oblasti elektrických vozidel. Tímto rokem se tak datuje první model elektromobilu, tedy zhruba o 50 let dříve, než byl panem Benzem zkonstruován první automobil se spalovacím motorem [1, 4].



Obrázek 1.2: Elektrický vozík sestrojený profesorem Sibrandusom Stratinghemom a jeho asistentem Christopherom Beckerom v roku [5]

Pokrok ve vývoji akumulátorů se dočkal úspěchu v roce 1859, kdy Francouz Gaston Planté vynalézá olověný akumulátor (viz obr. 1.3). Tento akumulátor se skládal ze dvou olověných desek oddělených plátěným separátorem, který je zcela ponořen do roztoku kyseliny sírové. K dalšímu vylepšení dochází v roce 1881. Přichází s ním Francouz Camille Alphonse Faureho a způsobuje průlom, který vede k průmyslově vyráběným olověným akumulátorům a výrazně tak zlepšuje spektrum využití [1, 6].



Obrázek 1.3: Olověná baterie Gastona Plantého [7]

V roce 1870 byl sestaven další pokus o elektromobil, a to Sirem Salomontem Davidem. Vůz byl vybaven lehkým elektrickým motorem, avšak těžkými a rozměrnými akumulátory, vozidlo tak bylo pomalé a jeho dojezdová vzdálenost krátká. Prvním sériově vyráběným vozem se stal tříkolový vůz, který v roce 1881 představil Francouz Gustav Trouvé na Světové výstavě v Paříži (viz obr. 1.4). S jeho produkcí začal o tři roky déle v Londýně [8, 9].



Obrázek 1.4: Replika originálu tří kolového vozidla Gustava Trouvého uložená v německém muzeu v Hockenheimu [10]

1.1 Historický vývoj v zahraničí

Za elektromobil, tak jak ho známe dnes, je považována konstrukce z roku 1884 (viz obr. 1.5). Její konstruktér byl anglický elektrotechnik Thomas Parker. Thomas Parker byl také zodpovědný za inovace, jako je elektrifikace londýnského metra a tramvají v Liverpoolu a Birminghamu. Elektrické vozidlo Thomase Parkera dostávalo velkou pozornost, protože to bylo první vozidlo, které mělo potenciál být hromadně vyráběno a přinést tak revoluci v cestování. Parker měl velký zájem na tom, aby se podílel na ekologicky šetrné možnosti dopravy, protože si uvědomoval, jak je spalování uhlí a plynu špatné vzhledem k životnímu prostředí. Z historických záznamů Anglie z roku 1886 je známo, že bylo do dopravy zavedeno několik taxíků s elektrickým pohonem, které údajně měly mít malý elektrický motor a 28čláňkovou baterii [11].

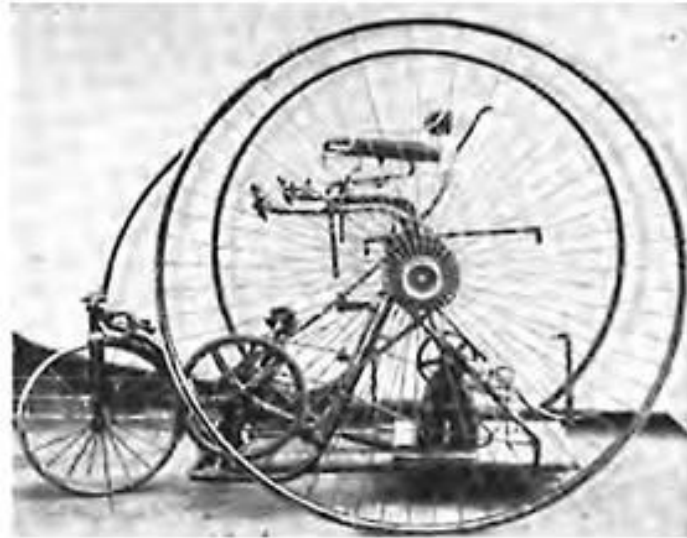


Obrázek 1.5: Elektromobil Thomase Parkera [12]

V roce 1884 se také objevuje méně známý Američan Andrew Lawrence Riker. Riker byl raným automobilovým designerem, který v tomto roce odchází z prvního ročníku vysoké školy. Zatímco žije v suterénu u svých rodičů, experimentuje zde s bateriemi a kyselinou sírovou. Později pak v roce 1917 vyrábí první automobil, který kombinuje elektrický a spalovací motor [1].

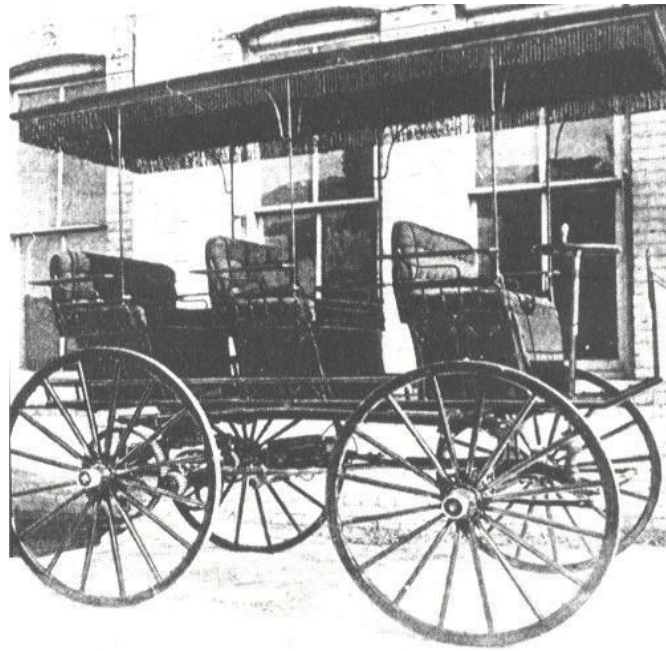
Roku 1888 Andrew Riker zakládá společnost Riker Electric Vehicle Company, která sídlí v New Jersey. Tentýž rok přichází další americký vynálezce Philip Pratt a předvádí elektrickou tříkolku (viz obr. 1.6), kterou sestrojila společnost Fred M.

Kimball. Tvrdí se, že Philip Pratt je prvním konstruktérem se svojí elektrickou tříkolkou ve Spojených státech a dostává tak přezdívku „otec amerického elektrického automobilu“. Ve stejném roce se objevuje elektromobil také v Německu pod vedením podnikatele a vynálezce Andrese Flockena [1, 6].



Obrázek 1.6: Elektrická tříkolka Philipa Pratta [13]

Další anglický vědec, který se zabýval především chemií, byl William Morrison. Jeho společnost Morrison vytvořila a uplatnila několik patentů, například patentovala automatický regulátor pro elektrický proud a zdokonalila způsob výroby desek akumulátorových baterií. V roce 1888 Morrison nainstaloval svojí výkonnou lehkou akumulátorovou baterii do vozu postaveného Des Moines Buggy Company. První vůz Morrison Electric však příliš úspěšný nebyl. V roce 1890 postavil Morrison druhý elektrický vůz, který byl mnohem úspěšnější. Celkem bylo vyrobeno 12 vozů Morrison Electric (viz obr. 1.7). Model Morrison Electric obsahoval 24 článků akumulátorů umístěných pod předním sedadlem, které konstruoval sám Morrison. Baterie měla výkon 112 Ah při napětí 58 V a dobíjení trvalo 10 hodin. Každý článek vážil přibližně 14,5 kilogramu, motor vyvíjel výkon asi 4 koňské síly a byl namontován pod vozem. Vůz měl náhon na zadní nápravu. Vozidlo dosahovalo rychlostí 6 až 12 MPH (Miles per hour), což odpovídá přepočtu zhruba 10 až 19 km·h⁻¹. Dosahovalo vzdálenosti na jedno nabití až 100 mil, což je zhruba 160 km a bylo schopné vézt až 6 lidí [14].



Obrázek 1.7: Vozidlo Morrison Electric [15]

Následoval úspěch Belgičana Camille Jenatzy, který v roce 1899 zkonstruoval elektrický automobil (viz obr. 1.8), který pokořil hranici $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Evropa tak byla průkopnickou a rozvojovou zemí co se elektromobilů týče. Díky popularitě se tak elektromobily staly oblíbenými vozidly bohatých lidí, kteří si je mohli dovolit. Vozy přinášely spoustu výhod, ale také měly své nevýhody. K nejdůležitějším výhodám patřilo jednoduché spouštění vozidla, tichý chod a absence výfukových zplodin. Mezi hlavní nevýhody však patřila vysoká cena a nízká dojezdová vzdálenost, avšak ve městech s krátkou dojezdovou vzdáleností to nebyl zase takový problém [16, 17].



Obrázek 1.8: První elektromobil, který překonal rychlost $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ [18]

Ve spojených státech však nezůstávali pozadu a firma Holtzer Cabot Electric, začíná v roce 1891 sériově vyrábět své elektrické vozy. Na přelomu 19. a 20. století zde vzniká velký rozmach elektromobilů. V roce 1900 je ve Spojených státech registrováno okolo 4000 elektromobilů. V dobách největší slávy jezdilo po USA až 50 000 takových vozů [19, 20].

Ve 20. letech 20. století nastává zlom a úspěch elektromobilu velice rychle ustupuje. Dochází k objevům značných ložisek ropy v různých oblastech USA, které snižují cenu za litr. Do popředí vstupují automobily se spalovacím motorem, které v roce 1912 podporuje vynález elektrické startér Američanem Charlesem Ketteringem. Tento vynález velice zvyšoval komfort při startování a odpadlo tak startování klikou u spalovacích motorů. O rok později přichází masivní pásová výroba těchto automobilů. Pod vedením Američana Henryho Forda vzniká model Ford T, který se díky své sériové výrobě a levné ropě stává až 4x levnější než elektromobil. Díky své příznivé ceně je tak dostupný široké komunitě lidí. Pánové Ford a Edison se v roce 1915 pokusili, o sestavení elektrické verze modelu Ford T., kde byly instalovány ocel-niklové akumulátory, avšak elektromobily se zachránit nepodařilo. Spalovací motory svým výkonem, dojezdovou vzdáleností a snadnější skladovatelností pohonných hmot hravě válčují vozy s elektromotorem. Výroba a vývoj elektromobilového průmyslu se tak zastavila a nakonec úplně zmizela [6, 21, 22].

Roky plynuly a vývoj elektromobilů zůstával stát, a to až do roku 1947, kdy se objevuje vynález bodového tranzistoru. V Bellových laboratořích dochází k objevu tranzistorového efektu, na kterém se týmově podílí Američané William Shockley, John Bardeen a Walter Brattain a otevírají tak nové možnosti v elektrotechnice. Díky tomu se začíná využívat polovodičových součástek a dochází ke zlepšení baterií. Po dalších deseti letech vývoje tranzistoru společnost Henney Coachworks s výrobcem baterií Exide vzniká produkce prvního elektromobilu, založeného na tranzistorové technologii. Vozidlo dostalo název Henney Kilowatt (viz obr. 1.9) a bylo vyráběno společností Renault Dauphine. Navzdory zlepšení dojezdových vzdáleností a výkonu motoru se vůz nesetkal s příznivými ohlasy, a to zejména díky vysoké pořizovací ceně vozu. Nakonec v roce 1961 byla výroba ukončena a vozidlo se tak na trhu moc neujalo. Tato technologie však byla později použita při sestrojování lunárního vozidla Lunar Rover, které společnosti Boeing a Delco

Electronics vybavily stejnosměrnými elektromotory na každém kole a dvěma 36 V stříbro-zinkovými nenabíjecími bateriemi. Dalším milníkem ve vývoji se pak stala až 70. léta, která přinesla ropnou krizi a enormní zvyšování ceny ropy. Začíná se tak tlačit na nahrazení ropy alternativním pohonem. Ze začátku se do výroby zapojily státní ústavy zaměřené na elektrické stroje a městskou dopravu. Reagovaly tak na situaci zamořených a znečištěných měst smogem. Zájem států vyrábět elektrická vozidla však upadával, hlavní zaměření stále zůstávalo na vozidla se spalovacím motorem. Ve vývoji pokračovali pouze jednotlivci „amatéři“, kteří měli zkušenosti v oboru, ale nemohli své znalosti uplatňovat [23 - 25].



Obrázek 1.9: První elektromobil Henney Kilowatt založený na tranzistorové technologii [26]

Poslední vývojová etapa začíná až na začátku 90. let 20. století, kdy se zájem o elektromobily opět zvyšuje a společnosti se znovu snaží o technologický vývoj elektromobilů. Počátkem 90. let byl v americkém státě Kalifornii vydán zákon, který nařizoval automobilovým společnostem, aby část svých produkováných vozů tvořily vozy s nulovými přímými emisemi. Celkový podíl vyráběných automobilů měl tvořit 10 % výroby v roce 2003. Vysoké náklady na vývoj a výrobu však vedly k tomu, že se společnosti postavily proti tomuto nařízení a uměle vytvářely nezájem zákazníků o elektromobily. Nakonec tímto vzdorem došlo ke zrušení zákona a automobilní společnosti opět upustily od vývoje elektromobilů. Vozy s tímto pohonem, které již byly v provozu, začaly být postupně stahovány z trhu a následně sešrotovány. Některé společnosti však vozy s elektrickým pohonem vyráběly, a to poměrně ve velkém objemu. Jedním z nich byl i koncern PSA (Peugeot Citroën Asociation),

který vznikl už v roce 1974. Společnost navazovala na zkušenosti předchozích let a vytvořila samostatnou divizi zaměřenou na výrobu elektromobilů s názvem PSA Electric. V roce 1995 automobilová společnost PSA spustila patrně největší sériovou výrobu elektromobilů v historii. Vyrobila více než 10 000 elektromobilů. Koncem roku 2000 byla za nejasných důvodů výroba ukončena. Dnes se tyto vozy stále objevují v autobazarech, a to i přes veřejně utajovanou snahu snižovat jejich počet šrotováním. Ještě jedním ze zástupců vyráběných elektromobilů byla společnost GM (General Motors). V letech 1996 až 1999 přišla na trh s modelem GM EV1 (viz obr. 1.10). Vůz měl dobře navrženou baterii a jeho konstrukce z hliníkového rámu neměla ve své době obdoby. Přestože tento model svým konceptem předstihl dobu a na jeho vývoj bylo vynaloženo přes miliardu dolarů, byla výroba v roce 1999 ukončena. Celkově tak bylo vyrobeno zhruba 1100 kusů vozidel. V roce 2003 se společnosti podílející na vývoji a výrobě domluvily a stáhly tyto vozy z prodeje. V roce 2005 bylo sešrotováno posledních asi 90 kusů. Některé byly zachráněny a věnovány do muzeí [27, 28].

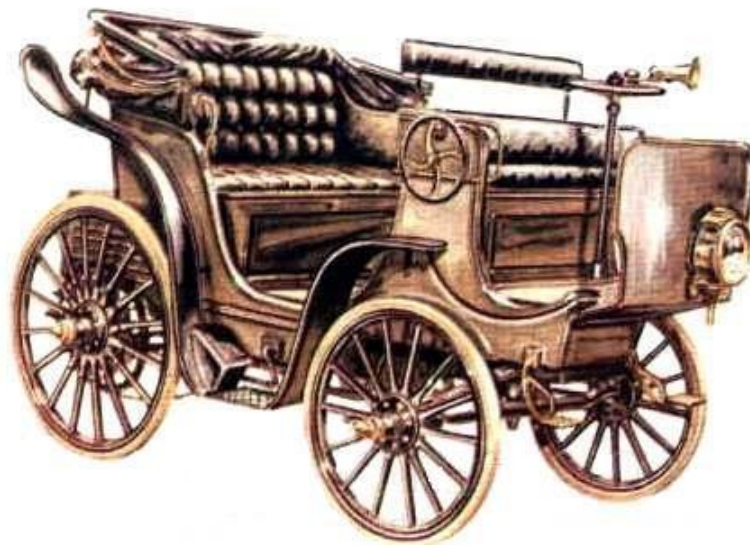


Obrázek 1.10: Model GM EV1 [29]

Na počátku 21. století opět dává impulz energetická krize, která donutila automobilní společnosti k usilovnému vývoji alternativních pohonných jednotek, a to nejen těch elektrických. V současné době se několik automobilových společností chystá zcela ukončit výrobu automobilů se spalovacími motory a nahradit je elektrickými. Po konci spalovacích motorů v EU volá především Německo. Také Čína se jako největší automobilový trh chystá ukončit výrobu a prodej tradičních automobilů se spalovacím motorem. Reaguje tak především na neudržitelnou smogovou situaci v zemi [30, 31].

1.2 Historický vývoj v ČR

Průkopníkem elektromobilu v České republice byl vynálezce František Křižík, který experimentoval s elektromobily od roku 1895. Historické záznamy z této doby se zde značně rozcházejí a není tedy jasné, kolik prototypů Křižík zkonstruoval. V roce 1895 a v následujících letech měly vzniknout celkem tři prototypy. Některé zdroje uvádí, že třetím prototypem bylo hybridní vozidlo. Křižíkův první prototyp měl poháněná zadní kola elektromotorem o výkonu téměř 5 koní a ovládán byl pákami. Druhý prototyp (viz obr. 1.11) měl již klasické automobilové řízení a ovládání, tak jak ho známe dnes. Automobil měl opět zadní náhon s tím rozdílem, že byly použity dva elektromotory, každý o výkonu 3 koní. Motory byly umístěny na zadní nápravě a každý poháněl jedno kolo. Třetí prototyp by měl být jeden z prvních hybridů vůbec. Do vozidla se instaloval spalovací motor, který dobíjel baterie a ty pak sloužily jako zásoba energií elektromotorům [32, 33].



Obrázek 1.11: Druhý prototyp Křižíkova automobilu [34]

Dalším pokrokem ve vývoji elektromobilů v ČR se stala až ropná krize kolem roku 1965. Nejen ropná krize, ale také nepříznivý vývoj životního prostředí, zejména pak v centrech velkých měst, vedl k řešení toho problému. Stát měl za úkol pověřit místní organizace k návrhu a zpracování funkčního prototypu elektromobilu. Úloha připadla VÚES (Výzkumný ústav elektrických strojů) v Brně spolu s brněnským Vysokým učeníem technickým. V roce 1969 až 1974 vyrobily dva osobní a dva dodávkové prototypy. Osobní automobil nesl označení EMA 1 (viz obr. 1.12).

Vozidlo mělo plnit funkci ekologického vozítka v městském provozu. Jeho dlouhodobé jízdní zkoušky byly na tehdejší dobu velmi úspěšné. Technické parametry dovovaly přepravu dvou dospělých osob vepředu a dvou dětí vzadu. Vozidlo disponovalo dvěma motory o výkonu 2×3 kW, které hnaly zadní nápravu a celková dosažitelná rychlost byla až $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Vůz EMA 1 byl technicky jednoduchý, protože vynechal veškerá zařízení, která mají dnešní motory, jako je např. diferenciál. Další její předností byla rekuperační brzda, nedocházelo tak k opotřebením brzdových destiček a následné produkce prachu z nich. Model nákladního automobilu byl označen jako EMA 2 (viz obr. 1.13). Prototypů s tímto označením bylo vyrobeno více variant, a to s laminátovou nákladní skříní a s laminátovou skříní pro přepravu cestujících, která mohla přepravovat 8 cestujících, řidiče a spolujezdce, jako jediná se dnes dochovala. Koncepce vycházela z nejstaršího typu Barkas B 1000. K pohonu zde sloužil motor o výkonu 16 - 17 kW [35 - 37].



Obrázek 1.12: Model Ema 1 [38]



Obrázek 1.13: Model Ema 2 - prototyp s 8 místy [39]

Ústav silniční a městské dopravy v Praze byl další pověřenou organizací, která měla za úkol udělat přestavbu Fiatu 127 na elektromobil. Rozsáhlé podrobení vozu jízdním zkouškám vedlo k získání mnoha cenných technických údajů. Po dokončení těchto zkoušek byl vůz převzat jedním z městských orgánů. Zanedlouho byl však odstaven neznámo kde. Tímto byl ukončen úkol státu a zdálo se, že byl zcela ztracen. Pro stát zcela určitě, nicméně podnítil spoustu amatérů po celé zemi, ve skutečnosti však často prvotřídních odborníků, kteří nemohli svou znalost uplatnit. Nadšenci tak začali investovat spoustu svého volného času a prostředků do myšlenky realizace elektromobilů. Vzniká tak sdružení Elektromobily, které pravidelně pořádá celostátní setkání. Jedním z nejvýznamnějších představitelů byl Ing. H. Fügner, který od roku 1934 konal pokusy s elektrickým pohonem jízdního kola. Této myšlence se věnoval také Ing. J. Kolínek, který byl jako jeho syn. Ing. Fügner u nás vedl mládež v zájmovém kroužku již začátkem 60. let. Spoustu amatérských konstruktérů vyrábělo své elektromobily, tříkolky nebo třeba závodní vozy a spousta z nich se také dočkalo úspěchu v amatérských závodech doma i v cizině. Jaromír Vegr, který je jeden ze zakladatelů sdružení, se v roce 1989 účastnil závodů ve Švýcarsku a obhájil první místo. Přivezl si tak nejen prvenství, ale také zakázku na 1000 elektrických vozidel. Ústav pro výzkum motorových vozidel v Praze, zhotovil prototypy elektromobilů, na kterých pak ještě 10 let zkoumal vývoj. Vůz vznikl v roce 1990, po úspěšném předvedení v zahraničí sklídl úspěch. Jednalo se v podstatě o zkráceného a upraveného Favorita (viz obr. 1.14), který nesl označení

Škoda Shortcut. Model disponoval elektromotorem o výkonu 15,5 kW, maximální rychlostí $80 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a dojezdem až 80 km. Na rozdíl od současných elektromobilů, které mají zpravidla pouze redukční převod, si Shortcut ponechal manuální převodovku, pouze pátý rychlostní stupeň byl zablokován. Ačkoliv toto vozidlo sklízelo úspěchy na západních autosalonech a specializovaných výstavách, nikdy se jeho malosériová výroba nerozběhla [40 - 42].



Obrázek 1.14: Upravený model škoda Favorit [43]

Důsledkem pozitivních politických změn skončilo po roce 1989 období amatérů a elektromobily opět stagnovaly. V letech 1990 - 1992 bylo vyrobeno ještě několik stovek elektromobilů opět pro švýcarského zákazníka. Ke konci roku 1992 vzniká koncept, vycházející ze Škody Shortcut. Modely nesou označení Škoda Eltra 151 L (viz obr. 1.15) a 151 Pick-up (viz obr. 1.16). Veškerá jejich produkce jde na vývoz a pouze několik kusů kupuje Česká pošta na rozvoz svých zásilek zejména v centrech měst. Vozidlo disponovalo stejnými parametry jako je předchůdce Shortcut. Výroba byla ukončena v roce 1993, kdy podnik Škoda Auto přebírá automobilová společnost Volkswagen [42, 44].



Obrázek 1.15: Model Škoda Eltra 151 L [45]



Obrázek 1.16: Model Škoda Eltra 151 Pick up [46]

Jako poslední z řady modelů automobilní společnosti Škoda Elcar Ejpovic vznikl v letech 1994 - 1996 prototyp Škoda Beta (viz obr. 1.17), který měl nahrazovat Škodu Elcar. Pro předpokládanou sériovou produkci byl založen společný podnik Škoda Tatra s. r. o. se sídlem v Příboře na Novojičínsku a tento model tak byl přejmenován na Tatra Beta. K výrobě byly použity díly převzaté ze Škody 120 L (přední směrové blikáče a světlomety), Škody Favorit (podvozek, skla, zrcátka, kliky, zámky a interiér) a ze Škody Pick-up (zadní sdružené svítlny). Pohon byl zajištěn asynchronním elektromotorem o maximálním výkonu 40 kW a točivým momentem 132 Nm. Byl napájený akumulátorem, který se skládal ze sady

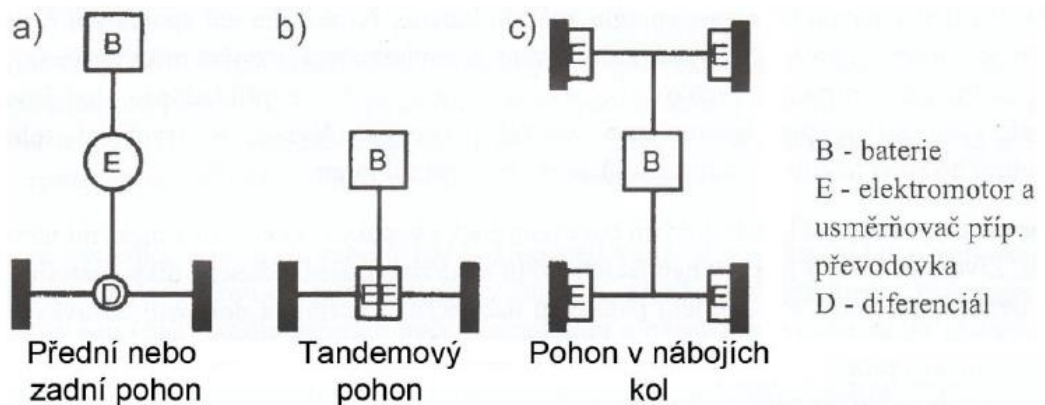
30 kusů NiCd baterií Saft typu STM5 - 100. Vozidlo dosahovalo rychlosti $110 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a dokázalo na jedno nabití ujet až 120 km. Původní plány počítaly hned se čtyřmi různými variantami dojezdů na jedno nabití, které byly na úkor celkové užitečné hmotnosti. Verze EL 126 ujela 70 km s užitečnou hmotností 420 kg, EL 144 zvládla 85 km s užitečnou hmotností 390 kg, EL 162 ujela rovných 100 km s užitečnou hmotností 350 kg a EL 180 zvládla 115 km při užitečném zatížení 390 kg. Celkem se vyrobilo pouze cca 100 kusů elektromobilů Beta. Většina jich putovala do zahraničí, ale díky velmi moderní konstrukci střídavého elektropohonu a přijatelné ceně jich mnoho skončilo jako názorná učební pomůcka na různých elektrotechnických fakultách. V roce 1997 byla výroba elektrické Bety zcela ukončena. V současné době se ČR podílí na vývoji elektromobilu hned několika světových automobilových společnostmi, ale vývoj svého vlastního automobilu bohužel nemá [47, 48].



Obrázek 1.17: Prototyp Škoda Beta [49]

2 KONCEPCE ELEKTROMOBILU

Elektromobily jsou vozidla, která pohání elektromotor napájený z akumulátoru. V dnešní době se elektromobily dají rozdělit do tří kategorií. První je elektromobil s jednoduchým elektromotorem, který využívá pro pohon elektrickou energii z akumulátorů. Druhým typem je elektromobil využívající zdroj elektrické energie z palivového článku a posledním typem je tzv. hybridní elektromobil. Hybridní elektromobil je automobil kombinující jak elektromotor, tak spalovací motor. Hlavní rozdíl je tedy v samotné technologii výroby elektromobilů, na rozdíl od klasických automobilů má odlišnou stavbu hnací části. Základem elektrického pohonu je baterie, elektromotor a diferenciál. Každý z těchto prvků hraje důležitou roli v celkové funkci vozidla. Jednoduchý model uspořádání těchto částí je vidět na blokovém schématu (viz obr. 2.1). Nejčastěji se využívá pohonu zadní nebo přední nápravy s centrálním elektromotorem. Elektromotor neslouží jen k pohonu vozidla, ale dokáže energii částečně také dodávat zpět do akumulátoru tzv. rekuperací energie. K tomuto efektu dochází například jízdou z kopce, při brždění nebo v městském provozu, kdy elektromotor energii vytváří a dobíjí tak zpět akumulátor. V této kapitole jsou dále detailněji popsány dva stavební prvky, a to elektromotor a akumulátor [50].



Obrázek 2.1: Uspořádání hnacího ústrojí elektromobilu [50]

2.1 Elektromotor

Elektromotor je všeobecně stroj, který složí k přeměně elektrické energie na mechanickou práci. Jako pohonnou jednotku v elektromobilech lze použít poměrně širokou škálu trakčních motorů různých typů. Volba vhodné konstrukce elektromotoru pro pohon je dána především požadavky, které vycházejí z vlastností a funkce poháněného stroje. Jedním z nejdůležitějších parametrů není ani tak výkon motoru, jako spíše točivý moment. Ostatní parametry jsou však také důležité, např. výkon, spolehlivost, hmotnost, hlučnost a v neposlední řadě také cena. Do základního rozdělení patří motory střídavé a motory stejnosměrné [51].

2.1.1 Střídavé motory

Střídavé motory u elektromobilů stále více vytlačují motory stejnosměrné. Nespornou výhodou těchto motorů je fakt, že odpadá nutnost vinutí kotvy a kolektor, díky čemuž může dosahovat vysokých otáček. Oproti stejnosměrnému motoru se srovnatelným výkonem je motor menší, lehčí a konstrukčně jednodušší. Další velká výhoda spočívá ve vybuzování rotoru magnetickým polem, na rotor tak nemusí být přiveden žádný proud. Dále je rozdělujeme na asynchronní, synchronní s permanentním buzením a synchronní s permanentními magnety. Uvedeny jsou pouze druhy, které se používají v elektromobilech [51].

Výhody:

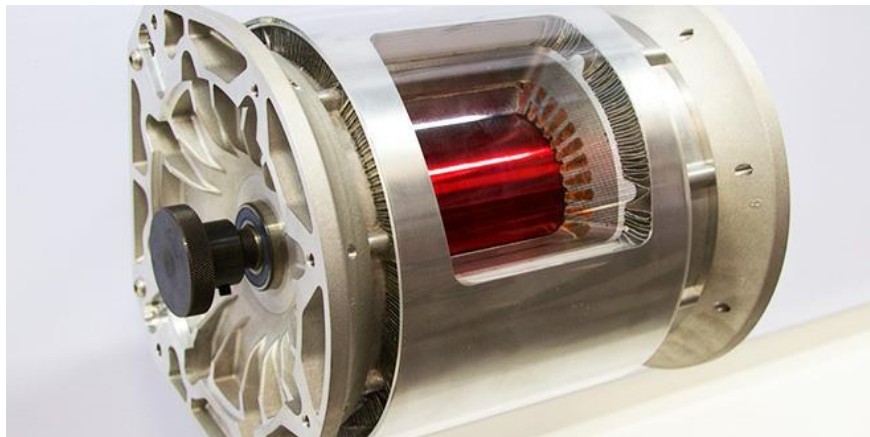
- technicky dokonalé
- kompaktní a robustní stavby
- malé náklady na údržbu
- vysoké otáčky
- vysoká účinnost
- stabilní běh motoru při vypadnutí jedné nebo více fází

Nevýhody:

- nerovnoměrný točivý moment.
- mohou nastat zvýšené emise hluku [51]

Asynchronní motor

Asynchronní motory mají jednoduchou konstrukci a díky tomu i levnou výrobu s malým požadavkem na údržbu. U těchto motorů je v rotoru umístěno rotorové vinutí. Působením točivého pole statoru se indukují magnetické pole v rotoru, a tím vytváří točivý moment. Dochází zde ovšem také ke skluzu otáček, aby se dostatečně naindukoval proud v rotoru. Podstatnou výhodou třífázového asynchronního motoru je to, že odpadá vinutí kotvy a kolektor, čímž lze dosahovat až 20 000 ot.min⁻¹. Naopak nevýhoda spočívá v nákladné elektronické regulaci řízení. Stejnosměrný proud z akumulátorů je nutné přeměnit na střídavý proud. K regulaci tahové síly a otáček motoru pak musí být měnitelná frekvence i napětí. Rekuperaci energie při brždění je možno realizovat s vysokou účinností. Tento typ má velice dobrý účinek v celém svém spektru otáček. Asynchronní motory používá k pohonu kol v současné době jeden z nejpobulárnějších elektromobilů Tesla Model S (viz obr. 2.2) [52 - 54].



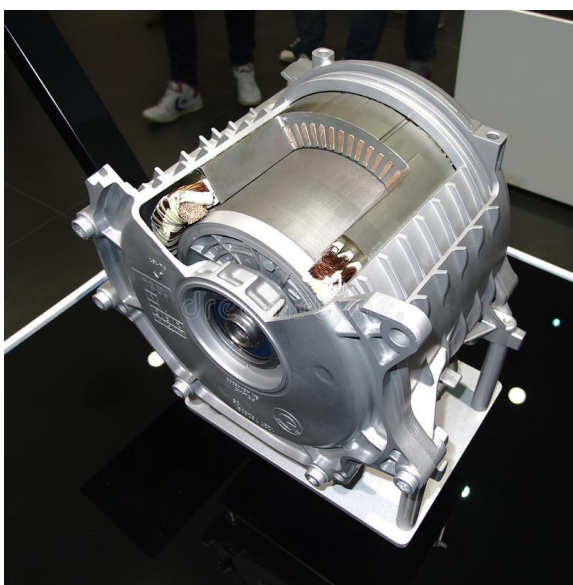
Obrázek 2.2: Asynchronní motor automobilu Tesla model S [55]

Synchronní motor s permanentním buzením

Stator má stejnou konstrukci jako asynchronní motor a v rotoru je budící vinutí. Rotor působí jako elektromagnet a má stejný počet pólů jako stator, proto mají tyto motory při zatížení stejné otáčky jako točivé pole statoru a nevzniká tak skluz jako u asynchronních motorů. Tato varianta motoru umožňuje velmi malý zastavěný objem. K regulaci otáček je však zapotřebí použít vícenásobný regulátor. U těchto motorů nelze dosáhnout takového rozsahu otáček jako u asynchronních motorů, proto je potřeba použít nejméně dvoustupňové převodovky pro hospodárny provoz. Tento typ není v elektromobilech příliš rozšířen a spíše se nepoužívá [52, 53].

Synchronní motor s permanentními magnety

Princip funkce tohoto motoru je značně odlišný. Synchronní motor je napájen třífázovým harmonickým napětím, které vytváří ve statoru rotující magnetické pole. S tímto polem se spojí pole vybuzené permanentními magnety v rotoru a nastává synchronní běh. Rotor se otáčí stejnou rychlostí jako točivé pole statoru. V současné době je to jeden z nejpoužívanějších druhů v elektromobilech a vozidlech s hybridním pohonem. Motor má vynikající elektrické parametry při malé hmotnosti a rozměrech. Tento typ používá například BMW i8 (viz obr. 2.3) [53, 56].



Obrázek 2.3: Synchronní motor BMW i8 [57]

2.1.2 Stejnoseměrné motory

Stejnoseměrné elektromotory mají také řadu výhod pro použití v elektromobilech jako pohonná jednotka. Jedním z nich je velký rozběhový moment a stupňovité řízení otáček motoru. Další velkou výhodou je to, že se dají užít nejen jako motor, ale také jako generátor. Hojně rozšířený je stejnosměrný bezkomutátorový motor s permanentními magnety. Dalšími používanými typy jsou motory se sériovým buzením a derivačním (paralelním) buzením [52].

Výhody:

- technická vyzrállost
- cena
- jednoduchost řízení

Nevýhody:

- komutátor a kartáče jsou náchylné k poruchám, nutná údržba
- maximální obvodová rychlost je omezena rotační frekvencí
- účinnost a hustota výkonu je menší než u střídavých motorů [51]

Stejnoseměrný motor s permanentními magnety

Stejnoseměrný motor bez komutátoru má ve srovnání s konvenčním permanentním vinutím stejnosměrných motorů vyměněné pozice statoru a rotoru. Ve vnějším statoru, kde jsou jinak uloženy permanentní magnety, je umístěno vinutí a permanentní magnety se nacházejí v rotoru. Konstrukce tohoto motoru je tedy velmi podobná permanentnímu buzení u synchronních motorů. V tomto motoru tak nepoužíváme komutátor, protože statorem vybuzené magnetické pole je řízené elektronicky. Dnes také rozšířené v elektromobilech [58].

Stejnoseměrný motor se sériovým buzením

Motor má budicí cívku zapojenou do série s vinutím kotvy. Jeho zatěžovací proud je současně proudem budicím. Tyto motory mají nejjednodušší regulaci otáček, která se řídí pomocí tranzistorů nebo tyristorů proměnným spínáním napětí nebo frekvence. Charakteristika motoru je velmi měkká a při odlehčení vzrůstají otáčky natolik, že hrozí poškození motoru. Proto nesmí pracovat bez zatěžovacího momentu na hřídeli. Vzhledem k tomu, že je schopný rozbíhat velké setrvačné hmoty se otáčky samočinně přizpůsobují zatížení. Svoji konstrukcí je vhodný pro elektromobily, ale jeho použití je známé spíše ze starých typů elektromobilů [52, 53].

Stejnoseměrný motor s derivačním buzením

Pro tento typ platí, že je proud přiváděn do rotoru v obvodovém směru a magnetický tok statoru není kolmý, ale paralelní k ose statoru. Tyto motory jsou všeobecně známé tím, že jejich výroba je velmi komplikovaná a tím pádem i příliš nákladná. To je jedním z důvodů, proč se tento motor využívá velmi málo. Mezi výhody patří jejich jednoduchá a plynulá regulace a malý pokles otáček při zatížení. Mnoho světových univerzit a firem se aktivně zabývá zkoumáním a zdokonalováním těchto motorů [52, 53].

2.2 Akumulátory

Jak tomu bylo u elektromotorů, tak i zde máme nepřeberné množství různých typů trakčních baterií. Akumulátory jsou nejvíce řešeným tématem a v současnosti i limitujícím prvkem k velkoplošnému rozšíření elektrických vozidel. Slouží zde jako zdroj elektrické energie pro elektrický pohon a zbytek vozidla. Elektrické akumulátory jsou chemické zdroje elektrické energie, které jsou schopné v průběhu svého nabíjení přijímat elektrickou energii z vnějšího zdroje a ukládat ji ve svých elektrodách jako energii chemickou a zase naopak. Jelikož se jedná o chemické články, je jejich použitelná kapacita velice závislá na teplotě. Kapacitu snižují jak teploty nízké, kdy se navíc ještě zpravidla zvyšuje odběr zapnutého vytápění kabiny, tak teploty vysoké, kdy se akumulátor přehřívá a je tedy nutné ho chladit. Vysoké teploty též snižují životnost akumulátoru. Jeho hlavní části tvoří kladná a záporná elektroda, elektrolytový systém skládající se z elektrolytu a separátoru a jako poslední obal akumulátoru včetně proudových vývodů elektrod. Mezi sledované parametry patří kapacita akumulátorů, hmotnost, cena, rychlost dobíjení, počet možných dobíjecích cyklů, samovybíjení, paměťový efekt a další. Právě cena, která se odvíjí od celkových parametrů, výrazně ovlivňuje cenu elektromobilu. Vývojem baterií se zabývá obrovské množství subjektů, které se snaží zdokonalit technologii, zatím ještě „nedokonalého systému“. Při porovnání olověného akumulátoru s benzinem, kdy benzin obsahuje $11 \text{ kWh}\cdot\text{kg}^{-1}$ a akumulátor pouze $40 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$, je obrovský rozdíl energie. Litr benzínu má tak 275x více energie, než kilogram olověné baterie. Oproti klasickým startovacím bateriím, používaným u spalovacích motorů, jsou v elektromobilech použity trakční baterie. Jsou navrženy tak, aby zvládaly hluboké vybití a mnohem méně podléhaly opotřebení elektrod. Dále je rozdělíme do skupin, a to olověné, alkalické, lithiové a sodíkové [59, 60].

2.2.1 Olověné akumulátory

Jedná se o galvanický článek s elektrodami na bázi olova. Jako elektrolyt je použita zředěná kyselina sírová a její hlavní předností je schopnost dodávat vysoké rázové proudy. Naopak nevýhoda spočívá v tom, že když je vybitá nebo částečně setrvá v tomto stavu delší dobu, dochází na elektrodách k prakticky nevratným změnám, tzv. sulfataci, proto je tak nutné tyto akumulátory udržovat ve stále nabitém stavu. Mezi další nevýhody pak ještě patří nižší účinnost, malá hustota energie na kilogram

a menší počet dobíjecích cyklů. Jeho charakteristika je zde uvedena spíše pro porovnání, protože v dnešní době se v podstatě jako trakční baterie nepoužívá [61].

2.2.2 Alkalické akumulátory

Jako elektrolyt u alkalických baterií se používá roztok hydroxidu alkalického kovu. Představují jeden z prvních moderních typů palivových článků, který má nejdelší historii vývoje. Elektrody jsou vyrobeny ze spékaného niklového prášku s přísadou uhlíku za účelem zvýšení elektrické vodivosti. Dále jsou pak opatřeny katalyzační vrstvičkou platiny. Nejsou tolik závislé na teplotě a následném snižování kapacity. Pracovní teplota článku se pohybuje v rozmezí od 50 do 100 °C. Účinnost celého systému díky rychlé redukci kyslíku v alkalickém elektrolytu dosahuje hodnoty kolem 70 %. Za jejich nevýhodu by se dala považovat pořizovací cena, která je odvozena od nutnosti použití platiny. Rozdělujeme je dále do několika základních skupin podle toho, jakou na kladných a záporných elektrodách používají aktivní hmotu. Mezi nejpoužívanější patří nikl-kadmiové a nikl-metal hydridové akumulátory [51, 53].

Nikl-kadmiový akumulátor (NiCd)

Jedná se o první alkalický akumulátor, který se používal jako zdroj energie k pohonu v modernějších konstrukcích elektromobilů. NiCd akumulátor je druh galvanického článku. Výhodou těchto článků je skladování ve vybitém stavu, které akumulátor nepoškozuje a s tím související odolnost vůči hlubokému vybití. Další z řady výhod je vysoká životnost, která představuje až 2000 dobíjecích cyklů a možnost dodávat vysoké proudy, podobné jako u olověného akumulátoru. Určitou nevýhodou ve srovnání s dalšími typy je jeho relativně nižší měrná kapacita a její ztráta při opakovaném dobíjení v částečně vybitém stavu akumulátoru. Velkým problémem však není kapacita, ale spíše ekologická zátěž při jeho likvidaci. Kadmium, z něhož se skládá jedna z jeho elektrod je jedovatý, toxický a těžký kov a proto je nutná ekologická likvidace. Z těchto důvodů se od NiCd akumulátorů v elektromobilech upustilo a nahradily je modernější nikl-metal hydroxid akumulátory, které z toho typu vychází. V současnosti se tyto akumulátory vyrábí jako hermetické firmou Saft ve Francii [50, 62].

Nikl-metal hydridový akumulátor (NiMH)

Nikl-metal hydridový akumulátor má mnoho společného s nikl-kadmiovým akumulátorem. Jejich provozní teplota se pohybuje mezi -10 °C až +40 °C. Při teplotách pod bodem mrazu se jejich výkon rychle snižuje, avšak kapacitu tento jev

nesnižuje, po návratu do teplejšího prostředí se výkon obnoví. Materiálem záporné elektrody je však slitina: lanthanu, kobaltu, hliníku a manganu, která při nabíjení vytváří metalhydrid a nahrazuje tak škodlivé kadmium. NiMH akumulátory jsou tedy ekologické a dosahují přibližně dvojnásobné až trojnásobné kapacity oproti NiCd akumulátorům. Další jejich výhodou je udržení garantovaného napětí téměř do úplného vybití. Nevýhodou je životnost, která je poloviční oproti NiCd akumulátorům. V dnešní době se již také tento typ v elektromobilech moc nepoužívá, nahradila je řada lithiových akumulátorů. Mezi nejvýznamnější elektromobil vybavený NiMH bateriemi patří GM EV1 [53, 63].

2.2.3 Lithiové akumulátory

Lithiové akumulátory jsou zatím jednou z nejlepších možností, díky své nízké hmotnosti, vysoké hustotě energie, vysokému výkonu a měrné energii. Nemají žádný paměťový efekt, žádné jedovaté kovy jako je olovo, rtuť nebo kadmium. Hlavní nevýhodou lithiových akumulátorů je doposud jejich vysoká výrobní cena oproti NiCd a NiMH bateriím. Nejdražší položkou je lithium, které je samo o sobě vysoce reaktivní. Dále je dělíme na lithium-iontové a lithium-polymerové akumulátory. Jejich hlavní rozdíl spočívá ve stavbě elektrolytu, polymerové články používají pevný elektrolyt oproti tekutému u iontových článků. Používané lithiové akumulátory můžeme rozdělit podle použité příměsi na lithium-železo-fosfátové, lithium-manganové, lithium-nikl-kobalt-oxid-hlinité, lithium-nikl-mangan-kobaltové a lithium-titanové [64].

Lithium-železo-fosfátový akumulátor (LiFePO_4)

Roku 1996 na univerzitě v Texasu objevili fosfát jako katodový materiál pro dobíjecí lithiové baterie, tento typ se tak řadí mezi polymerní. Fosfát nabízí dobrý elektrochemický výkon s nízkým odporem. Mezi hlavní výhody patří vysoká proudová zátěž a dlouhá životnost. Akumulátor je odolný vůči okolním podmínkám při plném nabití a je méně namáhaný než jiné lithium-iontové systémy, pokud je udržován stále nabitý. Jako většinu těchto akumulátorů i tento nepříznivě ovlivňuje jak nízká, tak vysoká teplota. Lithium-fosfát se často používá k nahrazení také olověných startovacích akumulátorů. Životní cyklus se pohybuje mezi 1000 - 2000 nabíjení, vzhledem k tomu jakým způsobem je používána. Hustota měrné energie je 90 - 120 Wh·kg⁻¹ [65].

Lithium-titanový akumulátor ($\text{Li}_4 \text{Ti}_5 \text{O}_{12}$)

Baterie s lithium-titanovou anodou je známá z 80. let, nahrazuje tak anodu grafitovou. Poskytuje rychlé nabíjení a vysoký zatěžovací proud. Dosahuje vynikajících vlastností v životnosti a to 3000 - 7000 cyklů. Dokáže také držet svoji kapacitu a to i při velmi nízkých teplotách, při $-30\text{ }^\circ\text{C}$ dosahuje kapacity 80 %. Nejen kapacitu ale také schopnost rychlého nabíjení si dokáže udržet ve velmi nízkých teplotách. Další výhodou oproti konvenční lithium-iontové směsi s grafitem je dosažení vlastností nulové deformace anody. Oproti tomu má i nevýhody jako, vysokou pořizovací cenu a nízkou měrnou energii, pouhých $65\text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$. Typickým způsobem využití jsou elektrické pohony. Nalezneme je například v Mitsubishi i - Mi, Honda Fit [65].

Lithium-manganový akumulátor (LiMn_2O_4)

Lithium-manganový akumulátor používá oxid manganičitý jako primární katodový materiál. Principem je stejná, jako baterie lithium-kobaltová je však teplotně stabilnější, není toxická a její pořizovací cena oproti kobaltové je nízká. Její nevýhodou je spinelová struktura, díky níž má menší kapacitu. Nízký vnitřní odpor článků umožňuje rychlé nabíjení a vysoké zatěžovací proudy. Měrná energie činí $100 - 150\text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ a životnost 300 - 700 cyklů. Lithium-mangan se používá pro elektrické nářadí, lékařské přístroje a hybridní a elektrické vozy. Používá ho například Nissan Leaf [65].

Lithium-nikl-mangan-kobaltový akumulátor (LiNiMnCoO_2)

Tento akumulátor patří mezi nejúspěšnější lithium-iontové systémy. Využívá katodovou kombinaci nikl-mangan-kobalt. Podobně jako lithium-manganové, mohou být tyto systémy přizpůsobeny tak, aby sloužily jako energetické články. Kombinace katody je typicky jedna třetina niklu, jedna třetina manganu a jedna třetina kobaltu, známá také jako 1 - 1 - 1. Tato kombinace nabízí směs, která snižuje náklady na suroviny v důsledku sníženého obsahu kobaltu. Další úspěšná kombinace je 5 dílů niklu, 3 díly kobaltu a 2 díly manganu 5 - 3 - 2. Výrobci baterií používají tyto směsi kvůli vysoké ceně kobaltu. Systémy na bázi niklu mají vyšší energetickou hustotu, nižší náklady a delší životnost než kobaltové. Výhodou je dobrý celkový výkon

a měrná energie. Tato baterie je preferovaným kandidátem do pohonu elektrických vozidel. Měrná energie je $150 - 220 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ a životní cyklus $1000 - 2000$ [65].

Lithium-nikl-kobalt-oxid hlinitý akumulátor (LiNiCoAlO_2)

Lithium-nikl-kobalt-oxid hlinitý-akumulátor nebo také NCA, byl navržen kolem roku 1999 pro speciální aplikace. Nabízí vysokou hustotu energie, průměrně dobrý výkon s dlouhou životností. Naopak je více náchylná na výbušnost a má vyšší pořizovací náklady. Měrná energie je $200 - 260 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ a životnost 500 cyklů. Uplatnění nachází v elektropohonech a používá ho například automobilní společnost Tesla [65].

2.2.4 Sodíkové akumulátory

Jedná se o vysokoteplotní baterie, ke svému provozu potřebují teplotu $270 - 350 \text{ }^\circ\text{C}$. Zvýšená teplota je zde nutná k udržení sodíkové elektrody v tekutém stavu. Na rozdíl od ostatních akumulátorů mají sodíkové akumulátory obě elektrody v kapalném skupenství. Nevýhodou těchto baterií je fakt, že tuto teplotu je třeba udržet i při nulovém odběru. I přes svoji dobrou tepelnou izolaci je nutný externí zdroj energie. Mezi výhody patří mnohem vyšší měrná energie, bezúdržbový provoz a absence chemického samovybíjení [51].

Sodík-sírový akumulátor (NaS)

Patří do skupiny vysokoteplotních baterií, též zvaných jako vysokoenergetické baterie. Obě elektrody jsou od sebe odděleny izolační keramikou z oxidu hliníku, kterou protékají ionty sodíku. Životnost dosahuje okolo 4500 cyklů. Mají vysokou účinnost nabíjení a vybíjení, a to až 90 %. Dosahují zatím ne příliš vysoké měrné energie okolo $150 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$, ale jejich teoretická hodnota je až $792 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$, což je skoro dvojnásobná hodnota v porovnání Lithium-ion baterií, u kterých je teoretická hodnota $410 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$. Vývojem se zabývají japonské společnosti NGK insulator, Ltd. a Tokyo Electric Power Co. (TEPCO) [22, 66].

Sodík-nikl-chloridový akumulátor (NaNiCl)

Sodík-nikl-chloridový akumulátor je nazýván také jako ZEBRA baterie (Zero emission battery). Svoji konstrukcí se podobají sodík-sírovým bateriím. Při nabíjení se sůl NaCl a nikl přemění na nikl-chlorid NiCl_2 a roztavený sodík.

Chemické reakce jsou obrácené při vybíjení. Specifická energie tohoto akumulátoru se nyní pohybuje okolo $115 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ a teoreticky dosažitelná hodnota je odhadována $787 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$. Zde je katoda tvořená tekutým sodíkem a anoda pevným chloridem niklu, která nemá korozivní účinky. Baterie se stále testují v elektromobilech, jedním z nich je dnes elektromobil Think City [22].

2.3 Předpokládaný vývoj zdrojů elektrické energie

Lithium-sírový akumulátor (LiS)

Lithium-sírový akumulátor funguje na principu toho, že lithiové ionty se přenášejí mezi elektrodami lithium-uhlík a síra-uhlík. Technologie má ale velké problémy. Především to, že dochází k rychlému a masivnímu poklesu kapacity baterie po několika cyklech vybití a nabití. Úbytek je daný tím, že sulfidy z anody mají při vybíjení tendenci rozpouštět se v elektrolytu a následně reagovat s lithiovou katodou. Teoretická měrná energie by měla dosahovat až $2680 \text{ Wh}\cdot\text{kg}^{-1}$ [67].

Kov-vzduchové akumulátory

Tzv. metal-air baterie využívají elektropozitivní kovy jako je zinek, hliník, hořčík i lithium, které spolu s kyslíkem získaným ze vzduchu slouží k výrobě elektrické energie. Výrobní proces obsahuje běžně dostupné kovy, a proto se počítá s relativně nízkými náklady. Tyto akumulátory mají velkou konstrukční výhodu, a tou je potřeba pouze jedné elektrody. Ostatní typy potřebují pro svoji činnost elektrody dvě. Díky této vlastnosti mají metal-air baterie vysoký potenciál ke zvýšení měrné energetické hustoty. Metal-air baterie spotřebovávají k vytvoření elektrického proudu kyslík z okolí, který slouží jako kladná elektroda. Dále baterie obsahuje elektrolyt a negativní elektrodu kovu a vrstvu s kanálky pro přívod vzduchu. Vzduchová elektroda se rozpouští pomocí katalyzátorů, které produkují hydroxylové ionty v kapalném elektrolytu. Kladná elektroda kovu potom oxiduje a uvolňuje elektrony za vzniku elektrického proudu. Po nabití akumulátoru se proces obrací a na kladné elektrodě probíhá redukce při zpětném uvolňování kyslíku do vzduchu. Rozdílem od lithium-ion baterií je to, že neobsahují potenciálně toxické nebo výbušné plyny, ani toxicky nebezpečné složky pro životní prostředí, proto se pyšní až 100 % recyklovatelností [68].

Lithium-vzduchový akumulátor

Lithium-air akumulátory jsou považovány za vysoce slibnou technologii pro elektrické automobily a přenosná elektronická zařízení, protože jejich potenciál poskytuje vysokou měrnou energii v poměru k jejich hmotnosti. Ale také mají některé vážné nevýhody, při nabíjení se ztrácí až 30 % energie jako teplo a poměrně rychle se zahřívá. Vyžadují také drahé součásti pro čerpání a uvolňování kyslíku v otevřené buňce, která se velmi liší od běžných hermetických baterií. Tyto akumulátory jsou zatím ještě ve vývoji, ale mohly by poskytnout dojezd v elektromobilech až 800 km. Společnost IBM začala výzkum této baterie již v roce 2009. V roce 2012 se dále přidali společnosti Asahi kasei, která je předním výrobcem chemikálií v Japonsku a vedoucím dodavatelem separačních membrán pro Lithium-ion baterie a druhá Central glass, která je zase předním výrobcem elektrolytu pro Lithium-ion baterie. V roce 2014 se k výzkumu připojuje také světová automobilová společnost Volkswagen. Tyto baterie vydávají svojí energii oxidací lithiových desek, tedy vstřebáváním kyslíku. Při nabíjení je chemická reakce opačná. Důvodem nepoužívání tohoto typu je nízká životnost a vysoká ztráta kapacity při nabíjení [69 - 71].

Zinko-vzduchový akumulátor

Zinko-vzduchový akumulátor se již vyrábí v různých velikostech, od malých knoflíkových článků do sluchátek až po velké akumulátory. Na trhu byly uvedeny již v roce 1996 a v současné době se akumulátory na této bázi používají. Jejich výhodou je vysoká hustota energie, ekologická nezávadnost použitých materiálů a relativně malá cena. Princip tohoto akumulátoru je znám už 100 let. V současné době akumulátory nelze dobíjet nebo jenom velice omezeně kvůli opotřebením elektrod mají malou životnost v řádu desítek nabití. Skládají se ze dvou kladných elektrod tvořených plynným kyslíkem, jejich aktivní materiál jsou oxidy některých kovů např. směsi La, Ca, a CoO_3 v kombinaci s grafitickým uhlíkem. Záporná elektroda je tvořena kovovým zinkem a elektrolytem je 15% roztok KOH, který obsahuje určité množství fluoridu draselného (KF) a rozpuštěný oxid zinečnatý (ZnO). V procesu vybíjení se na kladných elektrodách extrahuje z plynného kyslíku, který se prostřednictvím elektrolytu přivádí k zinkové záporné elektrodě, kde dochází ke sloučení atomů zinku na ZnO. Problémem těchto akumulátorů je krátká životnost

elektrod, proto se stále vyvíjí a uvažuje se o jejich uplatnění v elektrických vozidlech. Zinek je poměrně levná surovina, dobře se skladuje a dá se jednoduše recyklovat [72].

Hliníko-vzduchový akumulátor

Skládá se z hliníkových plátů. Elektrická energie je získávána reakcí hliníku, za přítomnosti kyslíku a vody se přeměňuje v materiál známý jako Aluminium. Zajímavostí je obyčejná voda, která se vzájemně s hliníkem spotřebovává a je třeba jí občas dolévat. Tato oxidace probíhá u hliníku přirozeně, avšak je zastavena, jakmile Aluminium pokryje celý povrch materiálu. V bateriích je také elektrolyt, který vrstvu neustále rozpouští, a tak může reakce probíhat znova. Jakmile je chemickou reakcí rozpuštěn veškerý hliník, je baterie dále nepoužitelná. Elektrická vozidla by stále měla jezdit na lithium-ion baterie, které by se používaly na krátké vzdálenosti a kombinovaly se s hliníko-vzduchovými články pro vzdálenosti dlouhé. Sada baterií o hmotnosti asi 100 kg by měla podle tvůrců dodat energii až na 3 000 km. Izraelská společnost Phinergy vyvinula hliníko-vzduchovou baterii, se kterou dokáže elektromobil ujet až 1600 km na jedno nabití. V současné době už probíhá první testování v elektromobilech [73, 74].

3 NABÍJENÍ ELEKTROMOBILU

Základní myšlenkou pohonu elektromobilu je tzv. čistá energie, která je získávána z obnovitelných zdrojů, jako je sluneční, vodní nebo větrná energie. Proto je snaha o výstavbu takových dobíjecích míst, která jsou doplněna například zastřešením slunečním kolektory pro výrobu elektrické energie ze slunečního svitu.

Nabíjení elektromobilu je tedy realizováno zdrojem elektrické energie, kterým může být jednofázová nebo třífázová zásuvka nebo speciální nabíjecí stanice. Z pohledu základního členění je možné definovat dvě varianty nabíjecího proudu, a to na střídavé nebo stejnosměrné nabíjení. Akumulátor je ovšem vždy nabíjen stejnosměrným proudem. Rozdíl je tedy v tom, kde vzniká usměrněný proud, pokud vzniká přímo v nabíjecím zařízení a automobil se tak propojí pouze kabelem, hovoříme o nabíjení stejnosměrným proudem. V případě střídavého nabíjení je proud usměrňován buď přímo ve vozidle, nebo usměrňovačem, který je součástí propojovacího kabelu s elektrickou sítí.

Proces nabíjení elektromobilu je specifickou záležitostí, která je téměř v každé zemi upravena příslušnými národními předpisy. Existují však základní požadavky, které jsou definovány v normě IEC 61851 a dále v normě IEC 62196 [75], která definuje 4 typy nabíjecích módů. Tato norma je v České republice provedena překladem a platí pod názvem ČSN EN 61851. Pro Severní Ameriku pak platí norma SAE J1772 [76, 77].

3.1 Rozdělení dle různých parametrů

3.1.1 Nabíjecí proud

Střídavý jednofázový

Napájení je realizováno z klasické zásuvky 230 V s maximálním příkonem 16 A nebo speciální zásuvky, kde je proud zvýšen na 32 A. Doba nabíjení se pohybuje v řádech několika hodin (cca 4 - 10 h), a proto tyto nabíječky slouží spíše pro nabíjení přes noc nebo celý den. Výhodné je používání v kombinaci levnější energie v nočních hodinách [78, 79].

Střídavý třífázový

Zde se jedná o střídavé napětí z elektrické sítě nejčastěji 400 V s příkonem do 32 A, která je realizována průmyslovými třífázovými zásuvkami nebo speciálními zásuvkami s příkonem do 80 A. Tento způsob nabíjení je rychlejší (až šestinásobně), ale nehovoříme zde o rychlonabíjecích zařízeních [78, 79].

Stejnoseměrný jednofázový

Jednofázové dobíjení není příliš rozšířené, používá se v místech, kde je třífázová soustava nedostupná. V Evropě se téměř nevyužívá [78, 79].

Stejnoseměrný třífázový

Dle normy IEC 62196 je definováno maximální napětí na 600 V a příkon až 400 A. Zde už hovoříme o rychlonabíjecích zařízeních v řádech 15 - 30 minut. Tyto nabíječky v ČR zatím nejsou tolik rozšířené [78, 79].

3.1.2 Způsob připojení a výměny

Napájecí kabel

Při tomto způsobu připojení dochází k mechanickému spojení kontaktů elektrického vozidla a nabíjecí stanice. Jsou zde využívány klasické jednofázové a třífázové zásuvky nebo speciální nabíjecí konektory, které jsou dále popsány v kapitole 3.1.3 Typy napájecích konektorů. Tento způsob lze ještě rozdělit na mechanické připojení vyžadující obsluhu nebo automatické připojení, které uvádí jako prototyp například firma Tesla. (viz obr. 3.1) U větších vozidel, jako třeba elektrické autobusy, mohou být použity pantografy nebo speciální konstrukce pro nabíjení na konečných zastávkách [80, 81].



Obrázek 3.1: Prototyp automatického připojení firmy Tesla [82]

Bezkontaktní (indukční)

Tento způsob využívá přenosu elektrické energie bezkontaktním způsobem pomocí elektromagnetické indukce. Není proto potřeba mechanického propojení s nabíjecí stanicí, stačí zaparkovat na místě osazené nabíjecím panelem. Stejný princip nabíjení používá například elektrický zubní kartáček nebo některé typy přenosných svítilen. Díky bezkontaktnímu připojení se tento systém stále vyvíjí a zkouší se například integrované pásy zabudované ve vozovce, pro nabíjení přímo při jízdě. Dále se hodí pro nabíjení městských autobusů na zastávkách nebo na veřejných parkovacích místech. Jednou z velkých nevýhod však zůstává vyzařování rušivých elektromagnetických vln do okolí [80].

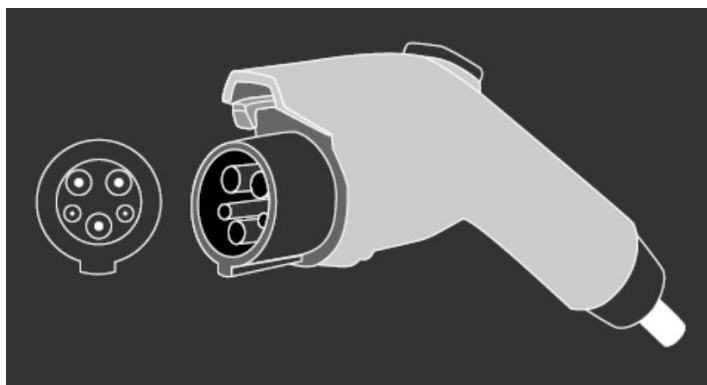
Výměnné stanice

Poněkud odlišným způsobem je výměnný systém akumulátoru. Slouží k tomu speciální nabíjecí stanice, kde je na vozidle automaticky vyjmuta vybitá baterie a vložena baterie nabitá. Tato metoda je zatím nejrychlejším způsobem „nabíjení“, kdy výměna trvá přibližně stejnou dobu jako tankování na čerpací stanici. Je však stále v testovacích podmínkách např. v dánské Kodani nebo japonském Tokiu. V České republice se v roce 2016 povedl realizovat projekt BattSwap, který se chce zabývat nejen výměnou baterií v osobních automobilech, ale třeba i v autobusech MHD (Městská hromadná doprava). Zakladatel projektu Radek Janků slibuje výměnu baterií za 30 vteřin [83].

3.1.3 Typy napájecích konektorů

Typ 1 - Yazaki

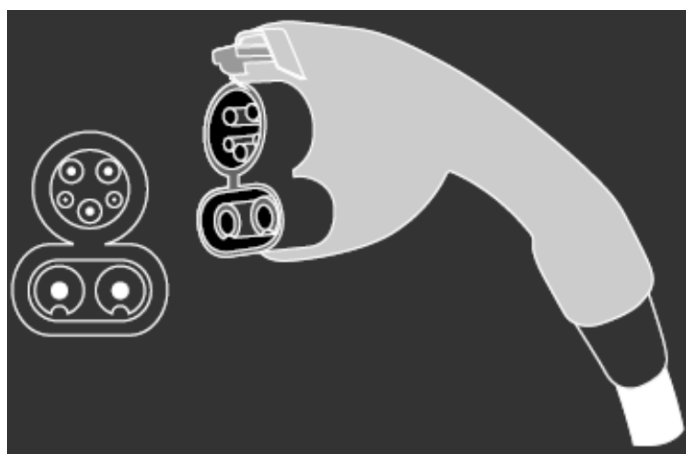
Tento typ konektoru (viz obr. 3.2) je určen pro připojení k jednofázové síti střídavého napětí o velikosti 120 - 240 V a maximálním proudem 80 A. Obsahuje dva piny pro přenos střídavého napětí, jeden pin jako zemnicí, dále pin pro kontrolu správného zapojení konektoru a komunikační pin, který umožňuje komunikaci mezi vozidlem a nabíjecí stanicí. Tento konektor je rozšířen převážně v Americe a Japonsku, pro které platí norma SAE J1772 [84].



Obrázek 3.2: Konektor SAE J1772, Typ 1 [84]

Typ 1 - Combo 1

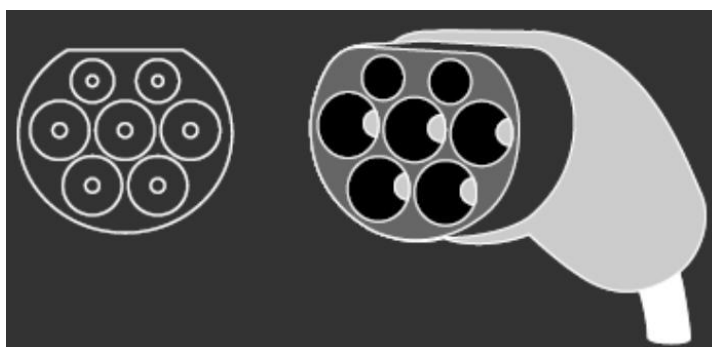
Jedná se o kombinovaný konektor (viz obr. 3.3), který vychází z konektoru Yazaki a je rozšířený o dva další piny určené pro nabíjení stejnosměrného napětí. Konektor je schopen přenosu stejnosměrného napětí o velikosti až 600 V a proudem 200 A. Rovněž vychází z normy SAE J1772 [84].



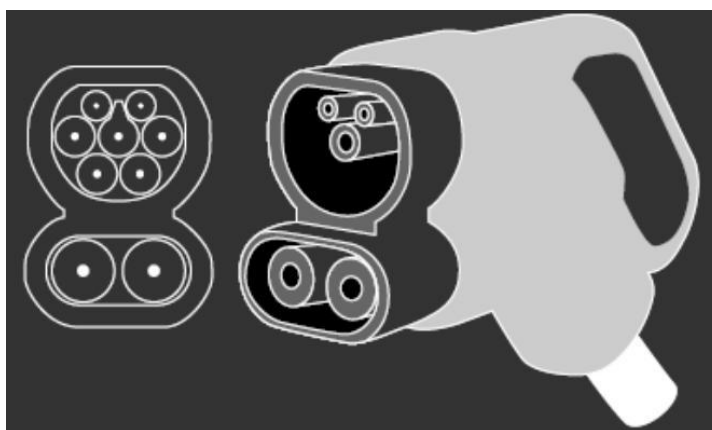
Obrázek 3.3: Konektor Combo 1 [84]

Typ 2 - Mennekes

Konektor Mennekes (viz obr. 3.4) vzniknul převážně pro Evropský trh kvůli rozvinutější infrastruktuře třífázových sítí, které konektor typu 1 nepodporuje. Lze přes něj však nabíjet i jednofázově. Maximální zatížení je střídavé napětí o velikosti až 400 V a proud 63 A. Nabíjet však lze i stejnosměrným napětím do 500 V a proudem 140 A. Toto však využívá pouze značka Tesla určená pro Evropský trh. Konektor disponuje třemi fázovými piny, jedním nulovým, jedním ochranným a dále kontrolním a komunikačním pinem [84].

**Obrázek 3.4:** Konektor Mennekes [84]**Typ 2 - Combo 2**

Stejně jako u prvního typu konektoru jde i u tohoto (viz obr. 3.5) o rozšířenou verzi o dva piny určené pro nabíjení stejnosměrným napětím o maximální velikosti 850 V a proudem až 200 A. Od roku 2014 je v platnosti plán sjednocení typů konektorů pro nabíjení a do roku 2019 by tak mělo dojít ke sjednocenému používání tohoto typu konektoru, který byl v roce 2013 schválený Evropskou komisí pro celou Evropskou unii [84].

**Obrázek 3.5:** Konektor Combo 2 [84]

Typ 3 - Scame

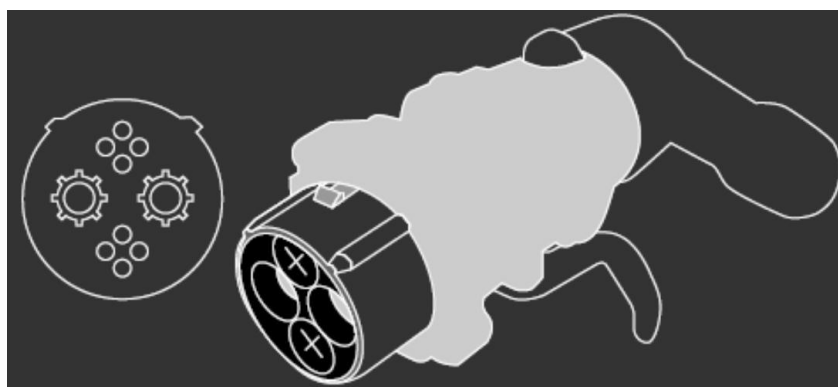
Tento konektor (viz obr. 3.6) je konstrukčně stejný jako Typ 2, liší se pouze jiným rozmístěním pinů a přidavnými ochrannými klapkami pinů, které vyžadují některé evropské země, jako například Švédsko, Finsko, Itálie nebo Velká Británie. Je schopen přenosu až 22 kW. V roce 2015 byl však plně nahrazen typem 2 opatřeným stejnými ochrannými klapkami [85].



Obrázek 3.6: Konektor Scame [86]

CHAdeMO

Konektor CHAdeMO (Charge de move), (viz obr. 3.7) je určený pro přenos stejnosměrného napětí o maximální velikosti 500 V a proudu 125 A. Nevýhoda oproti kombinovaným konektorům je nutnost osazení druhého konektoru v případě potřeby připojení vozidla ke střídavé síti. Tento konektor je využíván zejména japonskými a korejskými výrobci vozidel - Honda, Kia, Mazda, Mitsubishi, Nissan, Subaru, Toyota a dalšími výrobci jako Citroen a Peugeot [84].



Obrázek 3.7: Konektor CHAdeMO [84]

3.1.4 Rychlost nabíjení

Pomalé

Pomalé a středně rychlé stanice byly doposud nejčastěji vyskytujícími se stanicemi. Jedná se nejčastěji o jednofázové zásuvky se střídavým napětím, pro které v ČR platí napětí 230 V a maximální proud 16 A, tedy až nabíjecí výkon až cca 3,7 kW. Nabíjení trvá okolo 6 - 8 h, podle typu nabíječky ve vozidle. Záleží však také na modelu vozidla, např. Tesla model S by se za tuto dobu nabil pouze na cca 25 % své kapacity. Tato zařízení slouží zejména v domácích podmínkách, kdy majitel vozu přijede domů a přes noc vozidlo nabíjí z jakékoliv zásuvky na 230 V [78, 79].

Střední

Středně rychlé nabíjecí stanice zkracují nabíjecí proces zhruba na poloviční čas pomalých nabíjecích stanic. Využívá jednofázové sítě, které mají zdvojnásobený proud na 32 A nebo třífázové sítě s napětím 400 V a proudem do 32 A. To hlavně díky zdvojnásobení proudu u jednofázových zásuvek na 32 A. Nabíjecí výkon se tak pohybuje v rozmezí 7 - 22 kW. U nabíječek s výkonem 22 kW se doba nabití pohybuje okolo 1 - 2 h [78, 79].

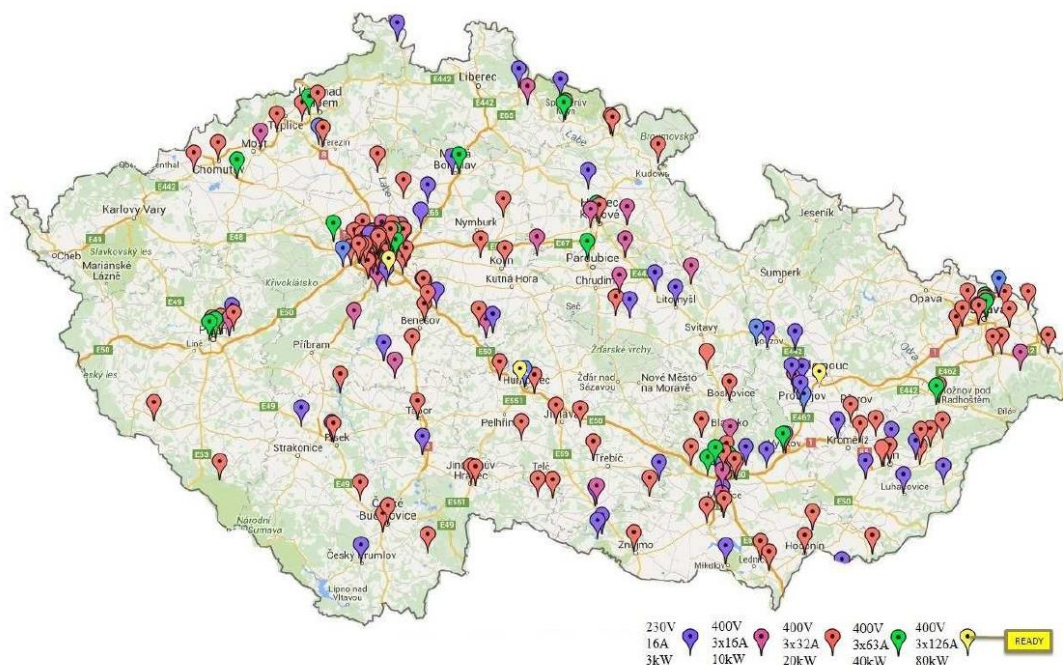
Rychlé

Tyto stanice poskytují výkon až 135 kW. Využívá se jak třífázové napětí střídavé, tak i napětí stejnosměrné. Střídavé napětí je však pro vyšší výkony značně nevýhodné, protože velikost maximálního proudu je limitována výkonem palubní nabíječky vozidla. Tedy čím větší výkon, tím rozměrnější a těžší nabíječka ve vozidle. Nabíjecí proud na těchto nabíječkách dosahuje hodnoty až 80 A. V dnešní době jsou proto rozšiřovány zejména nabíjecí stanice se stejnosměrným napětím, kde není zapotřebí palubní nabíječky, která je integrována ve stanici. Je tedy možné využít vysokých nabíjecích proudů a to až 400 A. Doposud nejvýkonnější stanice nesou označení jako Tesla Supercharger s výkonem 135 kW. V ČR první taková vznikla zhruba v polovině roku 2016 u Humpolce. V roce 2017 pak byly vybudovány další dvě, a to v Praze a Olomouci [78, 79].

3.2 Síť nabíjecích stanic v ČR

První dobíjecí stanice v České republice byla veřejnosti otevřena 24. 4. 2007 v Desné v Jizerských horách. O vybudování této stanice se postaral programátor Jaromír Vegr, který dal podnět k jejímu vybudování. Stanice se nachází v centru města v objektu Riedlovy vily.

V ČR je nyní v provozu přibližně 350 dobíjecích míst, které jsou vyobrazeny na mapě (viz obr. 3.8) a tento počet každým rokem roste. Nejčastější stanice disponují výkonem 22 kW, dalším typem jsou stanice CHAdeMO s výkonem 44 - 55 kW a posledním typem jsou super rychlé nabíječky Tesla Supercharger s výkonem 135 kW, který má podle společnosti být ještě navýšen na 150 kW. Současná infrastruktura ČR tedy není ještě zcela připravena na masivní nárůst elektromobilů. Při pohledu na velice rychle rostoucí prodeje elektromobilů v zahraničí (např. Německo, Francie, USA a Japonsko), lze do budoucna předpokládat obdobný růst i v České republice. Mezi distributory stanic patří společnosti PRE, která je téměř výhradním distributorem pro hlavní město Praha, E - ON a ČEZ [87, 88].



Obrázek 3.8: Mapa dobíjecích stanic [89]

4 EKOLOGIE ELEKTRICKÉHO POHONU

Slovo ekologie představuje hlavní směr pro 21. století. Toto slovo nacházíme takřka ve všech oborech. Pro dopravu jsou to zejména emise. Emise jsou klíčovým problémem veškeré dopravy a výrazně se tak podílí na znečišťování ovzduší a představují ekologickou zátěž pro celý svět. Skutečně velkým problémem pak emisní plyny způsobují ve velkých městech, kde dochází k vysoké koncentraci automobilů na malé ploše. Města jsou doslova ve smogovém oblaku kouře. Nepříznivý dopad tak vzniká nejen na životní prostředí, ale také na zdraví obyvatel.

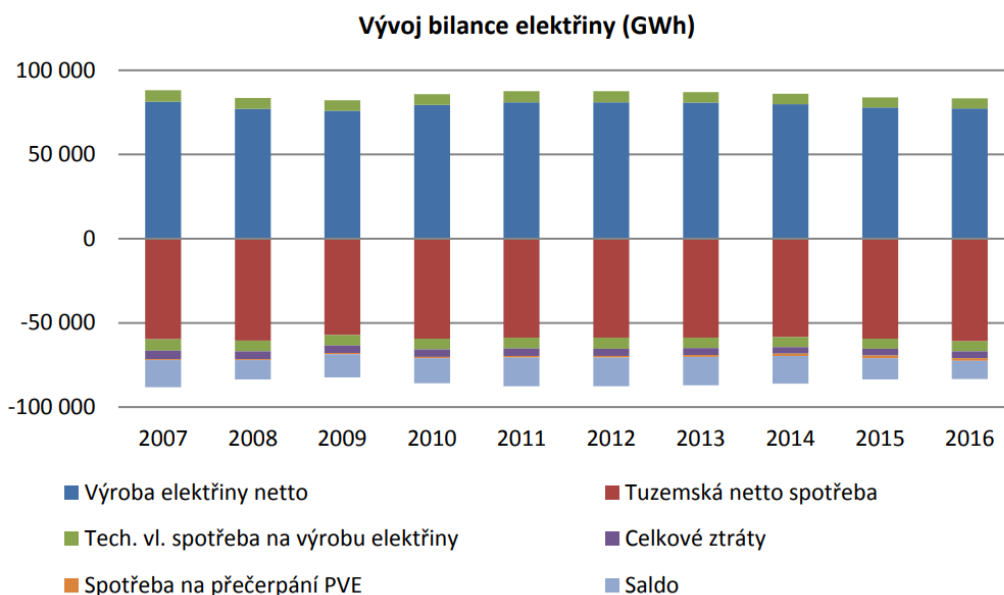
Z tohoto důvodu dochází k hledání řešení pro snížení škodlivých látek v ovzduší. Elektřina je v současnosti a také budoucnosti alternativou pro pohon využívaný v dopravě. Elektromobil v provozu produkuje takřka nulové přímé emise. Jedinou emisní složkou jsou prachové částice z brzdového obložení, avšak v zanedbatelné míře. Toto do určité míry řeší tzv. rekuperační brzdění, při kterém vzniká elektrická energie a dobíjí tak akumulátor. Vznikají však emise nepřímé, které se týkají výrobního cyklu vozidla, výroby elektrické energie a výstavby infrastrukturních sítí pro nabíjecí stanice [90].

4.1 Výroba elektrické energie v ČR

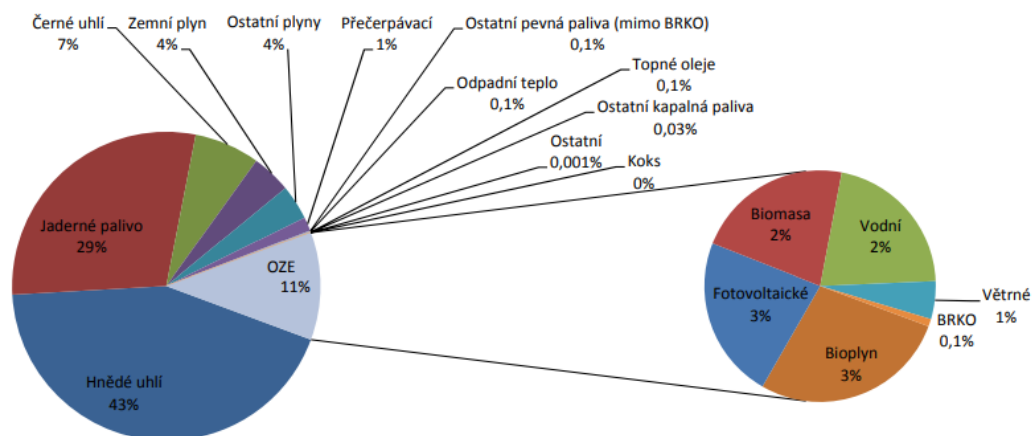
Z dat Energetického regulačního úřadu vyplývá, že v současné době Česká republika vyrábí okolo 85 TWh elektřiny ročně (viz obr. 4.1). Z toho 73 TWh spotřebujeme a 12 TWh vyvezeme. Avšak problém zůstává v samotné výrobě, která se skládá z různých typů elektráren. U nás je elektrická energie vyráběna pouze z 11 % obnovitelných zdrojů, které mají velice malé emise. Mezi tyto zdroje patří například voda, biomasa, vítr, sluneční energie a bioplyn.

Naproti tomu zůstává podstatná část vyráběné elektřiny z hnědouhelných elektráren (viz obr. 4.2), které jsou ekologicky nejhorší na vypouštění CO₂ do ovzduší. Od roku 2008 klesla produkce výroby o 15 %, ale i tak se drží v popředí. Daleko čistší energie vzniká z jaderných elektráren, kde je snaha o stále navyšování výroby. Situace v jiných zemích se však značně liší, a proto není možné s určitostí stanovit průměrný podíl emisí k výrobě 1 kWh ve světovém měřítku. Pro srovnání s ostatními můžeme uvést pár příkladů ostatních zemí a jejich složení energetického mixu. Pro Německo je také hlavním zdrojem energie z hnědého uhlí představující

37 %, naproti tomu však obnovitelné zdroje tvoří 31 %, jaderné energie pouze 14 % a plynové elektrárny 10 %, zbytek tvoří neméně významné podíly. Polsko má také hlavní podíl tvořený hnědouhelnými elektrárnami, ten dosahuje dokonce 76 % z celku a obnovitelné zdroje pouze 11 %. Jako poslední příklad uvedeme Španělsko, kde naopak hlavní podíl pochází z obnovitelných zdrojů 29 %, jaderné elektrárny činí 24 %, uhelné elektrárny 17 % a vodní elektrárny 12 %. Z příkladu je tedy názorně vidět, že „čistá elektrická energie“ ve skutečnosti není zase až tak čistá, jak by se mohlo zdát. Je třeba ještě připomenout, že obnovitelné zdroje, a to zejména sluneční a větrné, neposkytují stabilní zdroj energie a je potřeba je doplňovat o záložní zdroje s využitím spalování. [91, 92].



Obrázek 4.1: Vývojová bilance výroby elektrické energie v ČR pro rok 2016 [93]



Obrázek 4.2: Složení výroby elektrické energie v ČR pro rok 2016 [93]

4.2 Emise CO₂

Jak už bylo řečeno v předchozí kapitole, emise z dopravy představují výrazný podíl na celkové znečištění ovzduší. Toto znečištění vzrůstá v důsledku každoročního nárůstu intenzity automobilové dopravy. Spalováním fosilních paliv, zejména tedy paliv z ropy, vznikají jak neškodné, tak i škodlivé plyny. Jedná se o skleníkové plyny CO₂, NO_x a CH₄ a pevné částice. Maximální množství vypouštěných plynů u dopravních prostředků upravuje norma, která se s vývojem spalovacích motorů stále zpřísňuje. V Evropě vznikla první norma v červenci roku 1992, která nesla označení Euro 1 (viz tab. 4.1 a 4.2). První normy Euro 1 a Euro 2 počítaly s výsledným součtem emisních plynů a nerozlišovaly hodnoty uhlovodíku a oxidů dusíku. Norma Euro 3, která v platnost vstoupila v roce 2000, už s tímto rozdělením počítá. Nejnovější normou je v současnosti Euro 6, která je platná od roku 2014. Průměrná hodnota vypouštěných plynů je dnes okolo 130 g CO₂ na kilometr, který zahrnuje přímé emise ze spalování a nepřímé emise z výroby paliva. Tyto emise se však vlivem stárnutí vozidla a jeho výfukového systému zvyšují, zatímco u elektromobilu se vlivem rozvoje obnovitelných zdrojů snižují. Vozidla uváděná na trh po roce 2020 budou muset splňovat normu Euro 7 s maximálně 95 g CO₂ na kilometr, což bude znamenat odpovídající spotřebě paliva 3,54 l nafty nebo 4,06 l benzínu na 100 km.[94, 95].

Tabulka 4.1: Emisní normy pro vznětové motory [94]

Vznětové motory							
Emisní norma	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5a	Euro 5b	Euro 6
Zavedení normy	7/1992	1/1996	1/2000	1/2005	9/2009	9/2011	9/2014
Oxid uhelnatý [g·km ⁻¹]	2,72 (3,16)	1,00	0,64	0,50	0,50	0,50	0,50
Uhlovodíky [g·km ⁻¹]	-	-	-	-	-	-	-
Nemetanické uhlovodíky [g·km ⁻¹]	-	-	-	-	-	-	0
Oxidy dusíku [g·km ⁻¹]	-	-	0,50	0,25	0,18	0,18	0,08
Uhlovodíky a oxidy dusíku [g·km ⁻¹]	0,97 (1,13)	0,70	0,56	0,30	0,23	0,23	0,17
Pevné částice [g·km ⁻¹]	0,14 (0,18)	0,08	0,05	0,025	0,005	0,005	0,005
Počet pevných částic na 1 km	-	-	-	-	-	6·10 ¹¹	6·10 ¹¹

Tabulka 4.2: Emisní normy pro zážehové motory [94]

Zážehové motory						
Emisní norma	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Zavedení normy	7/1992	1/1996	1/2000	1/2005	9/2009	9/2014
Oxid uhelnatý [g·km ⁻¹]	2,72 (3,16)	2,20	2,30	1,00	1,00	1,00
Uhlovodíky [g·km ⁻¹]	-	-	0,20	0,10	0,10	0,10
Nemetanické uhlovodíky [g·km ⁻¹]	-	-	-	-	0,068	0,068
Oxidy dusíku [g·km ⁻¹]	-	-	0,15	0,08	0,06	0,06
Uhlovodíky a oxidy dusíku [g·km ⁻¹]	0,97 (1,13)	0,50	-	-	-	-
Pevné částice [g·km ⁻¹]	-	-	-	-	0,005	0,005
Počet pevných částic na 1 km	-	-	-	-	-	6·10 ¹¹

Elektromobilita je tak spojována s příznivým vlivem na okolní prostředí. Z hlediska emisní zátěže elektromobilů je ovšem nutné rozlišovat přímé emise, které jsou při jízdě automobilu skutečně nulové, a dále nepřímé emise z výroby elektrické energie, které byly popsány v kapitole 4.1. V ČR se dnes nepřímá hodnota z výroby elektrické energie v přepočtu na ujetý kilometr pohybuje okolo 85 g CO₂ na kilometr. Je však potřeba si uvědomit, že to nejsou jediné nepřímé emise. Dále nepřímé emise vznikají při výrobě vozidla jako takového, a to s elektropohonem nebo spalovacím pohonem jsou takřka srovnatelné. Netýká se to však samotné výroby baterií pro pohon elektromobilu. [96].

Švédská studie uvádí, že při výrobě vznikají velice vysoké hodnoty CO₂. Na výrobu 1 kWh kapacity baterie dojde k uvolnění 150 až 200 g CO₂. Výroba baterií je tak velice energeticky náročná. Ze studie vyplývá, že zhruba polovina vynaložené energie připadá na výrobu surovin a polovina na výrobu baterie samotné. Světový výrobce elektromobilu Tesla, používá u svého Modelu S baterii s kapacitou 100 kWh, což odpovídá produkci 17,5 t CO₂ z výroby takové baterie. Z pohledu vozidla se spalovacím motorem s hodnotou 130 g CO₂ s přihlédnutím na zvyšující se emise vlivem stáří a elektromobilu 85 g CO₂ na km stanoveno pro ČR z nepřímých emisí výroby elektřiny je hodnota CO₂ srovnatelná až při nájedu zhruba 320 000 km. Při tomto porovnání elektromobilu oproti vozidlu s klasickým spalovacím motorem se ekologická výhodnost značně snižuje. Pro porovnání je uveden ještě jeden finančně dostupnější elektromobil s klasickou koncepcí Nissan

Leaf, který ve svých vozech používá baterii s kapacitou 30 kWh. Nissan tak dosahuje zhruba 1/3 nájezdu návratnosti [97].

Společnost Tesla zahájila v roce 2014 výstavbu nové továrny Gigafactory (viz obr. 4.3) v Nevadě pro plánovanou produkci 500 000 vozů ročně. Továrna by měla být energeticky naprosto samostatná, a to plně z obnovitelných zdrojů, Tesla tak chce reagovat na energetickou spotřebu při celkovém výrobním cyklu, a to nejen vozidel, ale i baterií. Produkce CO₂ se tak tímto způsobem značně zmenší a zůstanou tak „pouze“ emise spojené s výrobou materiálu a těžbou Lithia pro baterie [98].



Obrázek 4.3: Model továrny Gigafactory společnosti Tesla [99]

5 MATERIÁL A METODIKA

5.1 Porovnávaná vozidla

5.1.1 BMW i3

Elektromobil BMW i3 (viz obr. 5.1) byl pro testování zvolen z důvodu jednoduchého zapůjčení v rodinném kruhu. Automobil je vhodný pro každodenní městský provoz, kde se velice dobře uplatňuje inteligentní rekuperační brzda. Nemaří se tak veškerá energie bržděním, ale naopak se její část vyrábí. Testovaný model má k dispozici dojezd z plného nabití akumulátoru okolo 170 km a dále je vybaven přídatným dvouválcovým benzinovým motorem, který v případě úplného vybití začne potřebnou energii vyrábět jako generátor, vozidlo tak může dále pokračovat v jízdě. Tento systém se nazývá prodloužený dojezd REx (Range Extenderem).



Obrázek 5.1: BMW i3

Tabulka 5.1: Technické parametry BMW i3 dle technického průkazu

Tovární značka	BMW
Obchodní označení	i3+REx
Druh (typ)	3dveřová
Datum první registrace	8. 10. 2014
Max výkon [kW]	125
Zdvihový objem motoru REx [ccm ³]	647
Max výkon/otáčky motoru REx [kW/ ot·min ⁻¹]	28/5000
Počet míst k sezení	4
Celková délka [mm]	3999
Celková šířka [mm]	1775
Celková výška [mm]	1597
Rozvor [mm]	2570
Provozní hmotnost [kg]	1390
Povolená hmotnost [kg]	1730
Nejvyšší technicky přípustná/povolená hmotnost na nápravu N1;N2;N3;N4 [kg]	765;765;1000;1000
Počet náprav - z toho poháněných	2 - 1 zadní
Nejvyšší rychlost [km.h ⁻¹]	150
Spotřeba paliva [kW/km]	11,5/100
Kapacita lithium - iontové baterie [kWh]	18,8
Objem zavazadlového prostoru [l]	260 – 1100
Rozměr obutých pneumatik	175/65/19 letní
Počet najetých kilometrů [km]	60000
Datum prodeje	4. 10. 2014
Cena vozu (cena je uvedena bez jakékoliv příplatkové výbavy) [Kč]	1 049 000

5.1.2 Renault Clio III

Automobil Renault Clio (viz obr. 5.2) je varianta spíše konvenčního levného dopravního prostředku, který je svojí cenou dostupný mnohem širší skupině lidí. Jako u předchozího modelu i zde byl vůz vybrán pro jeho snadné zapůjčení. Oba modely byly zakoupeny současnými majiteli jako nové a tak je možné zaručit i skutečný stav najetých kilometrů.



Obrázek 5.2: Renault Clio III

Tabulka 5.2: Technické parametry Renault Clio III dle technického průkazu

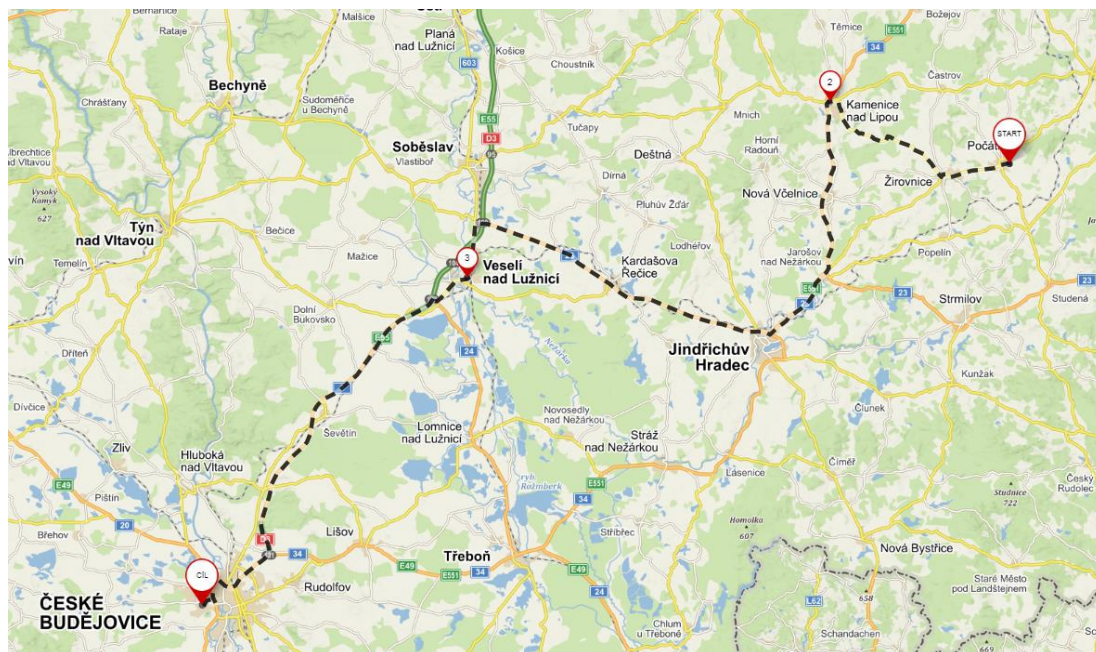
Tovární značka	Renault
Obchodní označení	Clio III
Druh (typ)	3dveřová
Datum první registrace	2. 5. 2012
Zdvihový objem [ccm ³]	1149
Max výkon/otáčky [kW/ ot·min ⁻¹]	55/5500
Počet míst k sezení	5
Celková délka [mm]	3986
Celková šířka [mm]	1719
Celková výška [mm]	1495
Rozvor [mm]	2575
Provozní hmotnost [kg]	1055 – 1228
Povolená hmotnost [kg]	1570
Nejvyšší technicky přípustná/povolená hmotnost na nápravu N1;N2;N3;N4 [kg]	840;840;870;870
Počet náprav - z toho poháněných	2 - 1 přední
Nejvyšší rychlost [km·h ⁻¹]	167
Spotřeba paliva město [l/km]	7,6/100
Spotřeba paliva mimo město [l/km]	4,9/100
Spotřeba paliva kombinovaná [l/km]	5,8/100
Objem zavazadlového prostoru [l]	288 – 1038
Rozměr obutých pneumatik	165/65/15 letní
Počet najetých kilometrů [km]	37000
Datum prodeje	24. 4. 2012
Cena vozu (cena je uvedena bez jakékoliv příplatkové výbavy) [Kč]	164 900

5.2 Metodika měření

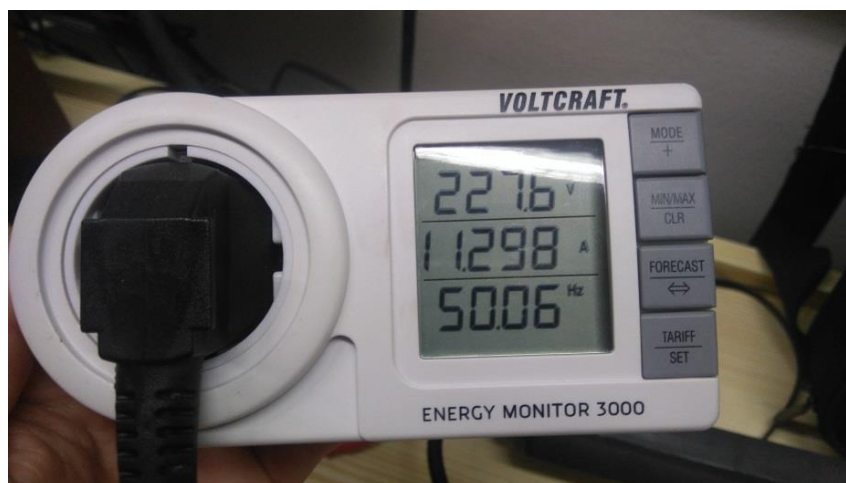
5.2.1 Metodika pro BMW i3

Spotřeba elektrické energie

Pro měření spotřeby elektrické energie byly zvoleny dvě dopravní trasy, kde bylo zapotřebí dostupnosti elektrické rozvodné sítě pro jejich opětovné dobití. První dopravní trasa (viz obr. 5.3) byla zvolena pro mimoměstský provoz v trasové délce 99 km dle mapových podkladů (Google maps). Předpokládaná doba jízdy činí 1:32 h. Volbě trasy předcházely dva hlavní důvody. První důvodem byl přesnější výpočet spotřeby na 100 km jízdy a druhým důvodem bylo spojení dopravní trasy s Jihočeskou Univerzitou v Českých Budějovicích a trvalým bydlištěm autora diplomové práce. Měření probíhalo z plného nabití akumulátoru vozidla na startu trasy a nabíjení vozidla přes měřič spotřeby elektrické energie (viz obr. 5.4) na konci trasy. Sledované hodnoty měření byly: průměrná rychlost, spotřeba dle palubního počítače, ujetá vzdálenost, čas jízdy, skutečně naměřená spotřeba při nabíjení a čas nabíjecího cyklu.

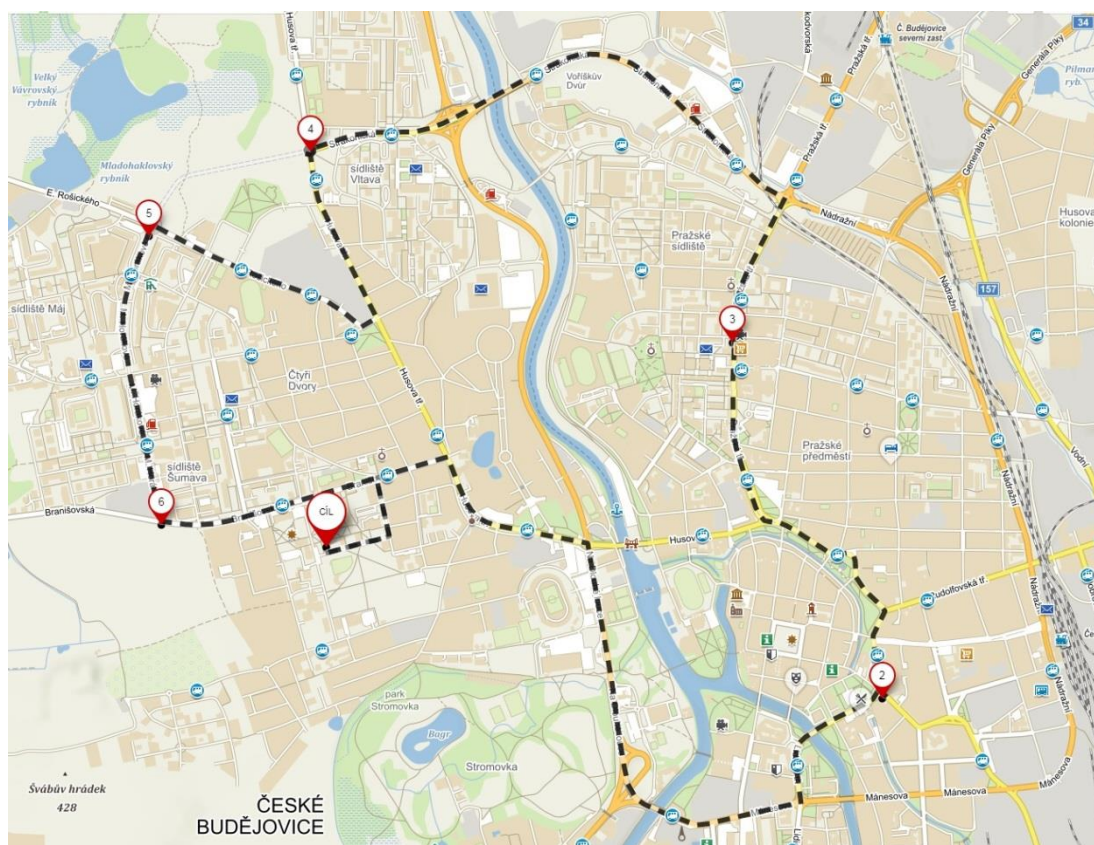


Obrázek 5.3: Dopravní trasa pro mimoměstský provoz BMW i3 [100]



Obrázek 5.4: Měřič elektrické energie Voltcraft Energy monitor 3000

Druhá dopravní trasa (viz obr. 5.5) byla zvolena pro zjištění spotřeby v městském provozu a opět byla volena tak, aby byla zajištěna dostupnost elektrické rozvodné sítě. Okruh byl jetý celkem 4x z důvodu eliminace chyby měření, které způsobují nestálosti dopravy a světelné signalizace. Celková délka trasy je 48,3 km dle mapových podkladů (Google maps). Předpokládaná doba jízdy 1:25 h. Metoda měření spotřeby energie, byla použita stejně jako u první trasy mimo město.



Obrázek 5.5: Dopravní trasa pro městský provoz BMW i3 [100]

Nabíjení

K nabíjení elektromobilu bylo využito střídavé jednofázové nabíjecí zařízení na síťové napětí 230 V a proud 12 A (viz obr. 5.6). Toto zařízení je definováno jako pomalé nabíjení. Měřena byla celková spotřeba včetně ztrát ve vedení a účinnosti nabíjecího adaptéru okolo 90 %.



Obrázek 5.6: Nabíjecí zařízení pro BMW i3

Hluk

Měření hluku v interiéru vozidla probíhalo za jízdy při ustálených rychlostech 50 a 90 km·h⁻¹. Ve vozidle byl umístěn širokospektrální hlukoměr Hand held analyzer 2270 (viz obr. 5.7).

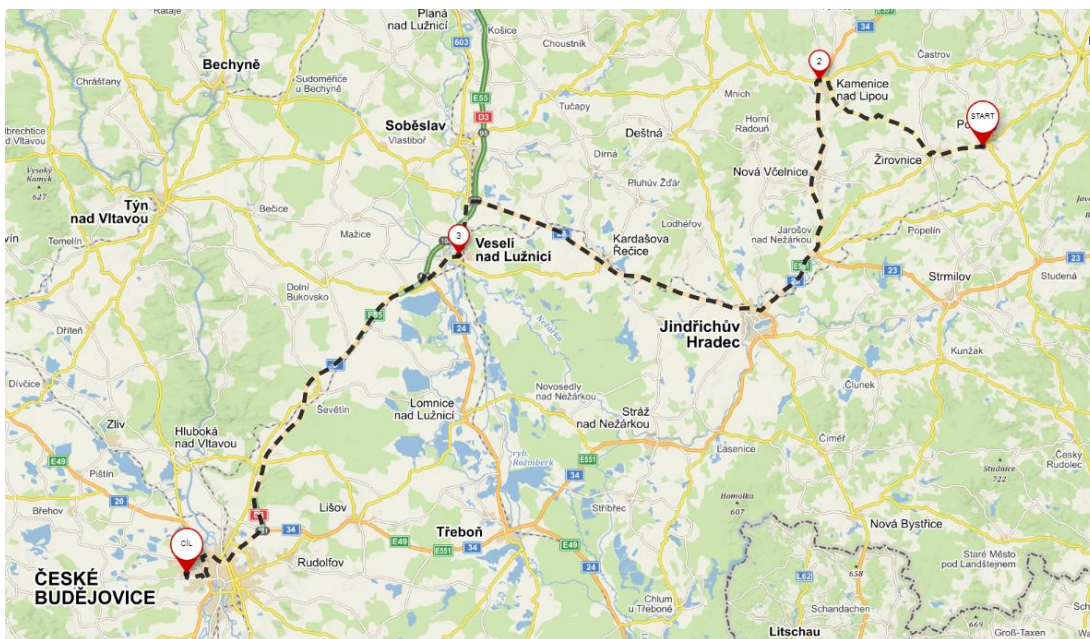


Obrázek 5.7: Širokospektrální hlukoměr Hand held analyzer 2270 [101]

5.2.2 Metodika pro Renault Clio III

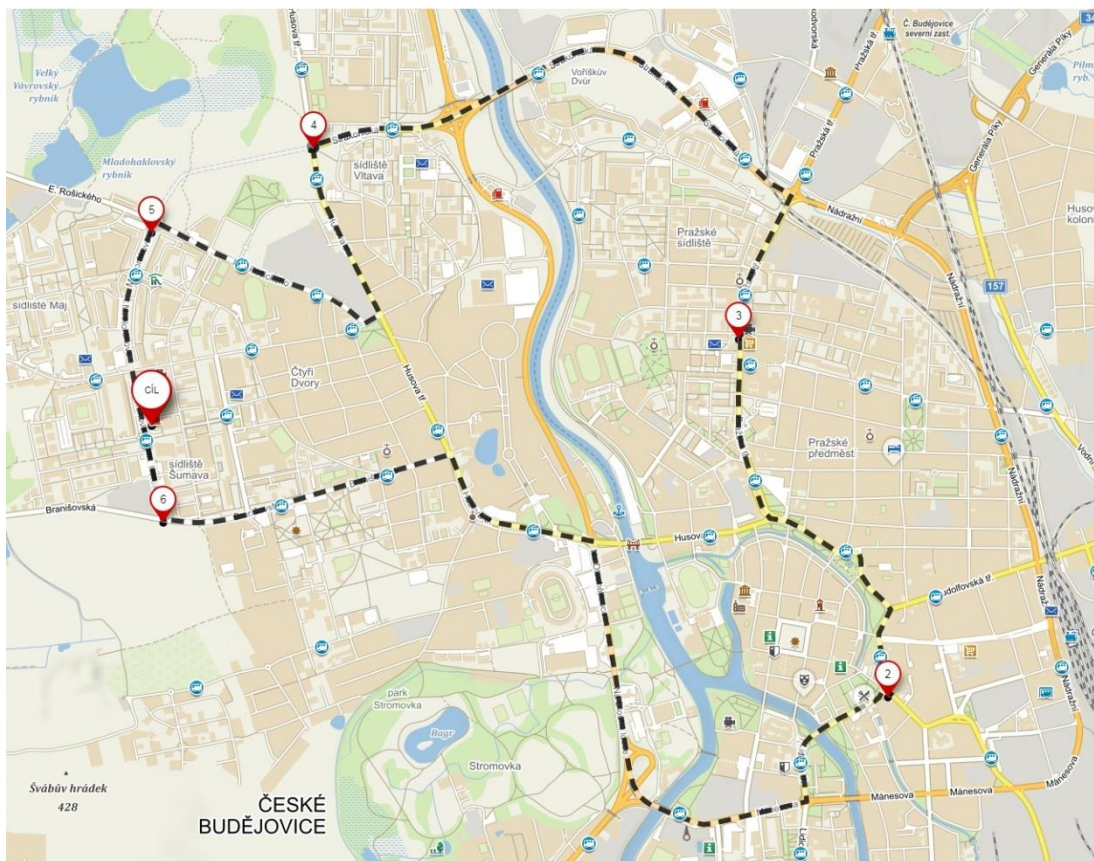
Spotřeba pohonných hmot

Stejně tak jako u elektromobilu, i zde byly zvoleny dvě dopravní trasy. Charakter obou tras byl zachován, nutné však bylo upravit začátek a cíl s ohledem na jiný druh pohonu. Pro kontrolu údajů o spotřebě z palubního počítače byla trasa upravena tak, že její koncové body byly posunuty na čerpací stanice. Měření tedy probíhalo tak, že na první čerpací stanici proběhlo úplné natankování plné nádrže po automatickém vypnutí čerpací pistole a na druhé čerpací stanici po ujetí daného úseku opět proběhlo úplné natankování. První plánovaná trasa (viz obr. 5.8) probíhala opět mimo město v celkové délce 99 km a předpokládaném čase 1:31 h. Měření začínalo vždy ve stejný čas a den v týdnu u obou porovnávaných vozidel, aby došlo k omezení chyb měření při změně hustoty provozu. Při jízdě byly vypnuty také podpůrné systémy vozidla, jako např. rádio a topení. Sledované hodnoty měření byly: průměrná rychlost, spotřeba dle palubního počítače, ujetá vzdálenost, čas jízdy, skutečná spotřeba po natankování.



Obrázek 5.8: Dopravní trasa pro mimoměstský provoz Renault Clio [100]

Pro městský provoz byl zvolen stejný okruh (viz obr. 5.9) jako u BMW, který ovšem začínal a končil na čerpací stanici. Stejně jako u mimoměstského provozu byl u obou vozidel i zde zvolen stejný čas začátku jízdy. Celková délka po ujetí 4 okruhů je 48 km.



Obrázek 5.9: Dopravní trasa pro městský provoz Renault Clio [100]

Hluk

Hlukové měření probíhalo stejně jako u prvního vozidla umístěním hlukoměru na sedadlo spolujezdce (viz obr. 5.10). Podmínkou měření byl úsek stejné části vozovky u porovnávaných vozidel z důvodu hluku různého druhu asfaltu.



Obrázek 5.10: Měření hluku Renault Clio

6 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Tabulka 6.1: Naměřené hodnoty nahuštění pneumatik

Vozidlo	BMW i3				Renault Clio			
Rozměr pneumatik	175/65/R19				165/65/R15			
Druh pneumatik	letní				letní			
Náprava	přední		zadní		přední		zadní	
Montovaná strana	levá	pravá	levá	pravá	levá	pravá	levá	pravá
Tlak [bar]	2,2	2,2	2,6	2,6	2,2	2,2	2,0	2,0

Tabulka 6.2: Naměřené hodnoty 1. mimoměstského provozu

1. jízda Počátky - České Budějovice				
Vozidlo	BMW i3		Renault Clio	
Datum	22. 10. 2017		15. 10. 2017	
Čas start [h]	17:00		17:00	
Čas cíl [h]	18:25		18:29	
Čas celkový [h]	1:25		1:29	
Vzdálenost dle PP [km]	97,8		97,5	
Průměrná rychlost dle PP [km·h ⁻¹]	68,5		66,2	
Průměrná spotřeba na 100 km dle PP [kWh], [l]	14,3		4,9	
Skutečná spotřeba na 100 km [kWh], [l]	16,65		5	
Čas nabíjení [h]	7:04		-	
Meteorologické podmínky				
	Počátky	České Budějovice	Počátky	České Budějovice
Čas [h]	16:57	18:29	16:57	18:29
Teplota [°C]	8,7	10	20,4	16,9
Vítr [km·h ⁻¹]	2	7,2	1	1
Vlhkost [%]	96	77	49	74
Tlak [hPa]	1012,9	1015,5	1026,1	1026
Srážky [mm]	6	0	0	0

Tabulka 6.3: Naměřené hodnoty 2. mimoměstského provozu

2. jízda České Budějovice - Počátky				
Vozidlo	BMW i3		Renault Clio	
Datum	25. 10. 2017		18. 10. 2017	
Čas start [h]	5:00		5:00	
Čas cíl [h]	6:24		6:33	
Čas celkový [h]	1:24		1:33	
Vzdálenost dle PP [km]	97,6		97,6	
Průměrná rychlost dle PP [km·h ⁻¹]	68,6		63	
Průměrná spotřeba na 100 km dle PP [kWh], [l]	15,6		5,2	
Skutečná spotřeba na 100 km [kWh], [l]	18,19		5,4	
Čas nabíjení [h]	7:46		-	
Meteorologické podmínky				
	Počátky	České Budějovice	Počátky	České Budějovice
Čas [h]	4:59	6:27	4:59	6:27
Teplota [°C]	10,5	8	11,7	7,8
Vítr [km·h ⁻¹]	3,6	0	3,6	0
Vlhkost [%]	82	100	86	100
Tlak [hPa]	1024,5	1023	1018,1	1015,4
Srážky [mm]	0	0	0	0

Tabulka 6.4: Naměřené hodnoty 3. mimoměstského provozu

3. jízda Počátky - České Budějovice				
Vozidlo	BMW i3		Renault Clio	
Datum	25. 10. 2017		18. 10. 2017	
Čas start [h]	17:00		17:00	
Čas cíl [h]	18:32		18:25	
Čas celkový [h]	1:32		1:25	
Vzdálenost dle PP [km]	98,2		97,4	
Průměrná rychlost dle PP [km·h ⁻¹]	65,9		68,3	
Průměrná spotřeba na 100 km dle PP [kWh], [l]	12,5		4,7	
Skutečná spotřeba na 100 km [kWh], [l]	15,74		4,8	
Čas nabíjení [h]	6:37		-	
Meteorologické podmínky				
	Počátky	České Budějovice	Počátky	České Budějovice
Čas [h]	16:27	17:29	16:57	18:29
Teplota [°C]	14,2	15,8	12,9	12,1
Vítr [km·h ⁻¹]	2	3,6	0	3,6
Vlhkost [%]	83	70	89	86
Tlak [hPa]	1021,3	1022	1013,5	1015,6
Srážky [mm]	0	0	0	0

Tabulka 6.5: Naměřené hodnoty městského provozu

městský provoz České Budějovice				
Vozidlo	BMW i3		Renault Clio	
Datum	24. 10. 2017		17. 10. 2017	
Čas start [h]	15:00		15:00	
Čas cíl [h]	17:08		16:54	
Čas celkový [h]	2:08		1:54	
Vzdálenost dle PP [km]	48,1		46,7	
Průměrná rychlost dle PP [km·h ⁻¹]	22,6		24,7	
Průměrná spotřeba na 100 km dle PP [kWh], [l]	15,2		7,4	
Průměrná spotřeba dle PP [l]	-		3,3	
Skutečná spotřeba na 100 km [kWh], [l]	9,13		3,4	
Čas nabíjení [h]	3:50		-	
Meteorologické podmínky				
	Počátky	České Budějovice	Počátky	České Budějovice
Čas [h]	14:59	16:59	14:59	16:59
Teplota [°C]	12,7	12,1	19,7	20,4
Vítr [km·h ⁻¹]	7,2	3,6	7,2	12,1
Vlhkost [%]	71	71	59	61
Tlak [hPa]	1024,8	1025	1021,15	1020
Srážky [mm]	0	0	0	0

Tabulka 6.6: Naměřené hodnoty hluku při 50 a 90 km·h⁻¹ BMW i3

Rychlost [km·h ⁻¹]	50			90		
Pokus	1	2	3	1	2	3
Hluk [dB]	55,78	55,91	55,84	63,41	63,68	63,52

Tabulka 6.7: Naměřené hodnoty hluku při 50 km·h⁻¹ Renault Clio

Rychlost [km·h ⁻¹]	50					
Rychlostní stupeň	3			4		
Pokus	1	2	3	1	2	3
Hluk [dB]	61,56	61,24	61,41	59,95	60,12	60,17

Tabulka 6.8: Naměřené hodnoty hluku při 90 km·h⁻¹ Renault Clio

Rychlost [km·h ⁻¹]	90					
Rychlostní stupeň	4			5		
Pokus	1	2	3	1	2	3
Hluk [dB]	65,57	65,62	65,70	65,46	65,24	65,25

7 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

7.1 Technické aspekty

7.1.1 Jízdní vlastnosti

Porovnání jízdních vlastností obou testovaných vozidel je čistě subjektivní. BMW nabízí velice pohodlnou jízdu a příjemné odpružení pružin podvozku. Toto tvrzení však platí zhruba do cestovní rychlosti $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, nad tuto rychlost se vozidlo stává více houpavé a to zejména při průjezdu ostřejší zatáčkou nebo při prudkém předjíždění. Vozidlo se tak stává nepředvídatelné a hůře drží přímou stopu. Pro dálniční provoz je tedy spíše nevhodné, a to nejen kvůli stabilitě, ale také kvůli neúměrně stoupající spotřebě při vyšších rychlostech. Naopak při nižších rychlostech je automobil velice dobře ovladatelný s přesným a příjemným řízením. Při městské jízdě velice dobře pracuje silná rekuperační brzda, která takřka nahradí kapalinovou brzdu. Zatímco automobily se spalovacími motory vykazují zvýšenou spotřebu v městském provozu vlivem rozjezdů a brždění, elektromobily tuto vlastnost nemají a spotřeba je srovnatelná nebo dokonce nižší než v běžném provozu. Renault svojí cenou nového vozu nabízí slušné jízdní vlastnosti. Při jízdě se vůz chová předvídatelně a přesně. Ovšem na dálniční provoz má poměrně krátké převodové stupně, a tak je jízda spíše nevhodná, oproti BMW je však automobil stabilní i ve vyšších rychlostech. V městském provozu je vozidlo překvapivě úspornější než jiná vozidla této kategorie.

7.1.2 Komfort

BMW díky své konstrukci vyššího podvozku z důvodu uložení baterie umožňuje velice pohodlný nástup a výstup do vozidla. Zvýšený posed v automobilu umožňuje dobrý výhled z vozidla vpřed a do stran. To však neplatí pro zadní výhled, který je spíše nedostatečný přes malé okno ve dveřích kufru. Tento nedostatek plně nahrazuje zadní barevná parkovací kamera se senzory a grafickým výpočtem dráhy parkování, parkovací asistent však není v základní výbavě vozidla. Pohodlí cestujících vepředu je dostatečné jak na nohy, tak na hlavu. Zadní místa jsou však značně stísněná a oproti předním ještě vyvýšená. Nepohodlný je i nástup posádky na zadní místa, protože je nutné mít otevřené i přední dveře, bez kterých zadní dveře nelze otevřít,

protože se otevírají v protisměru (viz obr. 7.1). Pro dospělého člověka se tak stává obtížný nejen nástup, ale i nedostatek místa na nohy a hlavu. Vůz je tedy koncipován spíše jako městský automobil pro dvě osoby. Renault svojí konstrukcí splňuje požadavky třídvéřového vozu na pohodlí cestujících. Na předních sedadlech je stejně jako u BMW dostatek místa na nohy a hlavu. V zadní části je dostatek místa jen v případě, že přední sedadla nejsou posunuta dále než za polovinou svého rozsahu nastavení. Výhled z vozu směrem dozadu je stejně jako u BMW trochu zhoršený, ale pořád je na tom lépe než konkurence.



Obrázek 7.1: Otevírání dveří BMW i3

7.1.3 Zavazadlový prostor

Zavazadlový objem obou porovnávaných vozidel je téměř srovnatelný. BMW (viz obr. 7.2) disponuje objemem 260 l a po sklopení zadních sedadel až 1100 l, zatímco Renault (viz obr. 7.3) má v základu objem 288 l a po sklopení sedadel 1038 l. Rozdíl je v konstrukčním uspořádání. BMW má díky vyvýšenému a rovnému dnu kufru velice pohodlné nakládání a vykládání zavazadel. Oproti tomu má Renault lepší tvarové uspořádání, a tak je mnohem praktičtější na uskladnění zavazadel.



Obrázek 7.2: Zavazadlový prostor BMW i3

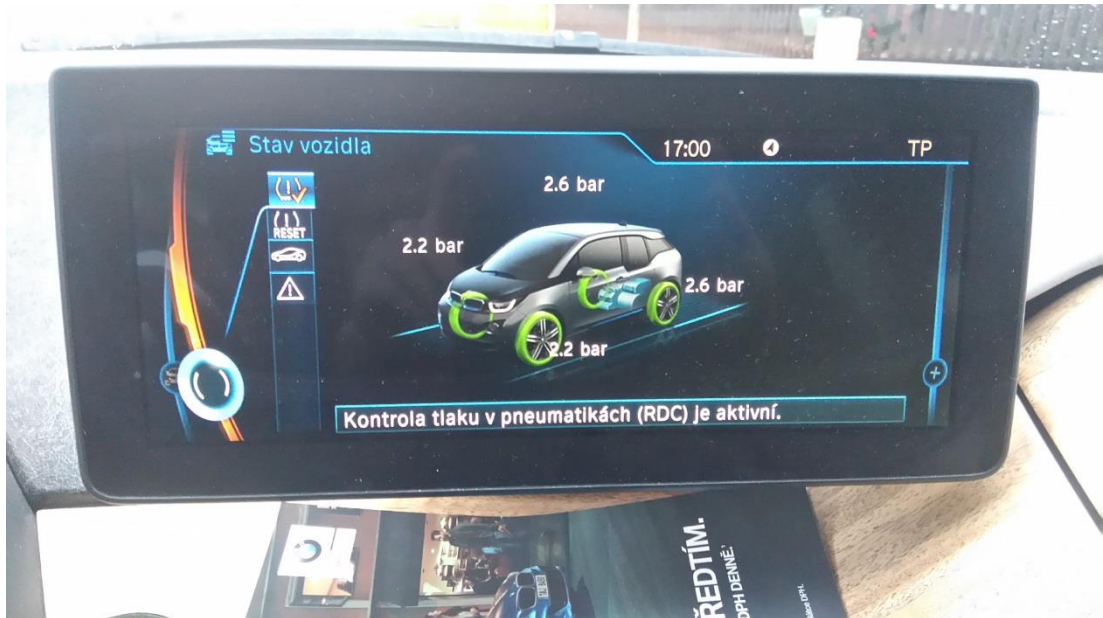


Obrázek 7.3: Zavazadlový prostor Renault Clio

7.1.4 Výbava

Výbava vozidel je spíše neporovnatelná. Každé vozidlo má odlišnou koncepci pohonných jednotek, a tak se liší funkcemi, nastavením a konstrukcí. BMW má svůj barevný palubní počítač (viz obr. 7.4) a celkový dojem z interiéru vozidla a ovládání je poněkud futuristický. Ostatní výbava jako hifi systém, parkovací asistent, navigace a další jsou příplatkové systémy. Má však i spoustu praktických funkcí, jako například měření tlaku pneumatik, zobrazení stavu brzdové soustavy atd. Renault

má pouze digitální palubní počítač (viz obr. 7.5) se základními funkcemi. Počet airbagů u obou vozidel je v základní výbavě stejný, jeden airbag ve volantu řidiče a jeden airbag v palubní desce pro spolujezdce. Mezi přednostní výbavu BMW patří funkce denního svícení, přední LED (Light emitting diode) reflektorová světla a inteligentní řízení světel podle světla z okolí.



Obrázek 7.4: Palubní počítač BMW i3

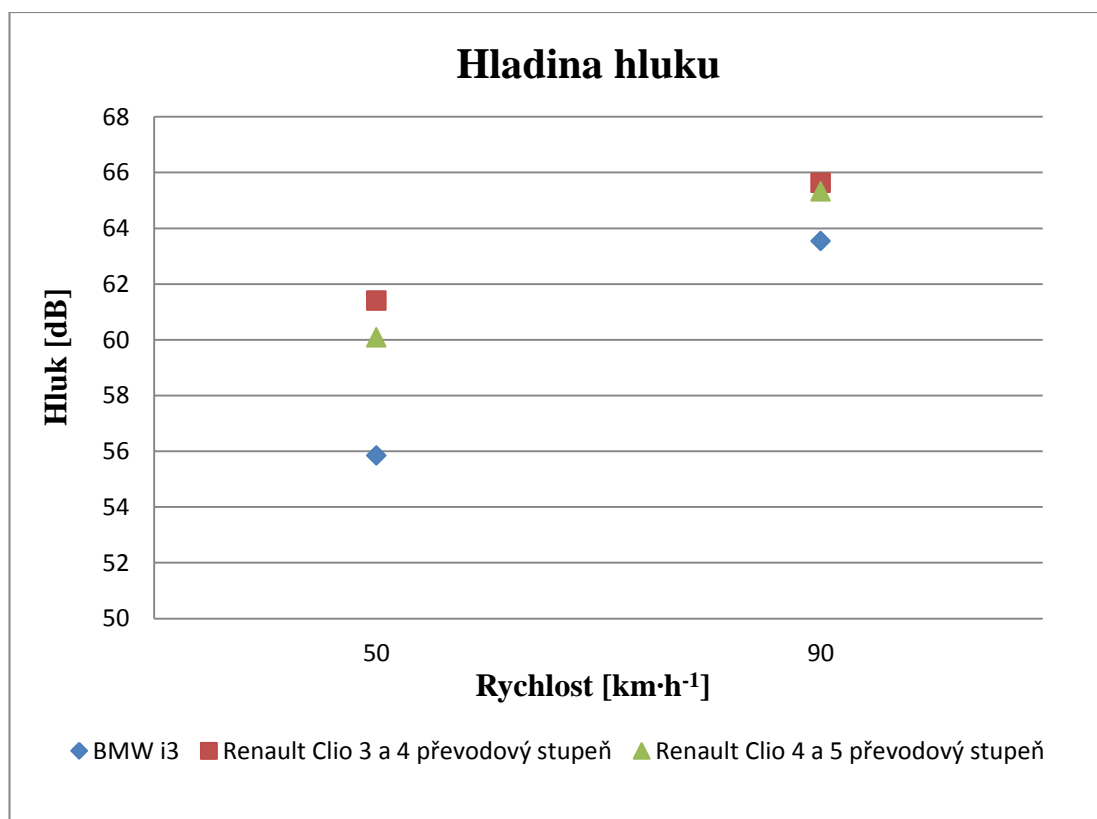


Obrázek 7.5: Palubní počítač Renault Clio

7.1.5 Hluk

Porovnání hlukové hladiny v kabině bylo testováno experimentálním měřením u obou vozidel. Měření probíhalo při ustálené rychlosti 50 a 90 km·h⁻¹ po stejné části úseku. Z výsledků vyplývá (viz graf 7.1), že BMW má předpokládanou nižší hlukovou úroveň díky svému tichému pohonu. Se stoupající rychlostí však stoupá i hluk a překvapivě se velice přibližuje Renaultu. Hodnoty grafu jsou průměrně naměřené hodnoty z jednotlivých rychlostí, které jsou zaznamenány v tabulkách 6.7, 6.8 a 6.9.

Graf 7.1: Porovnání hladiny hluku v kabině BMW i3 a Renault Clio



7.2 Ekonomické aspekty

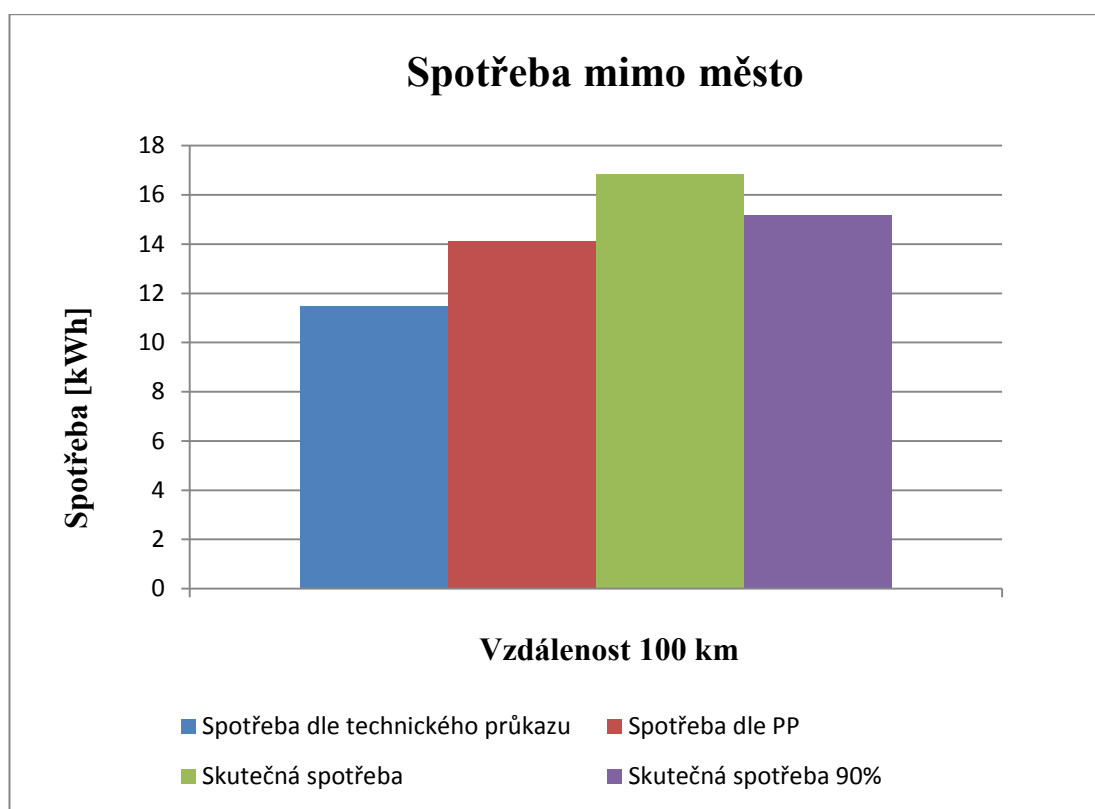
7.2.1 Cena

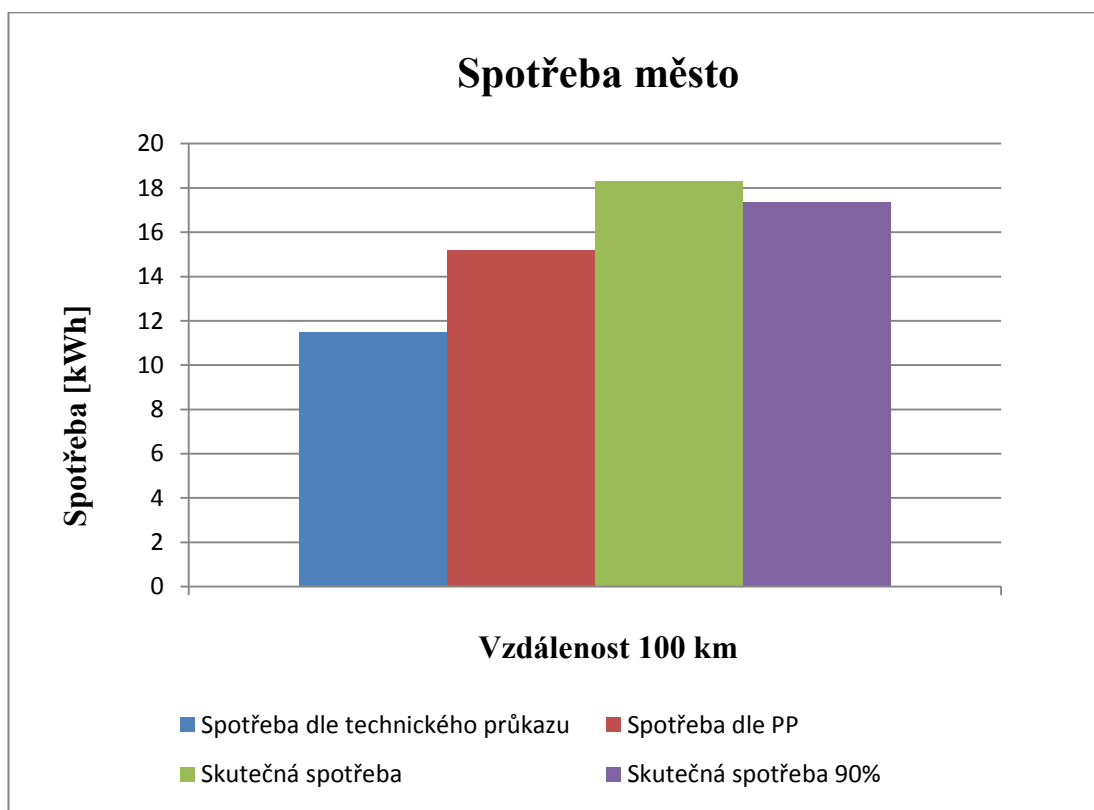
Požizovací cena obou vozidel se značně liší, a to tak, že cena BMW je 6,3x vyšší než cena Renaultu. Ceny vozů jsou uvedeny se základní výbavou, kde BMW i3 stojí 1 049 000 Kč a Renault Clio 164 900 Kč. BMW svojí vysokou cenou nepodporuje ani fakt, že karoserie je vyrobena z lehkých karbonových vláken. Výhodnost a návratnost pořízení vozidel je řešeno v kapitole 7.2.3 návratnost.

7.2.2 Spotřeba

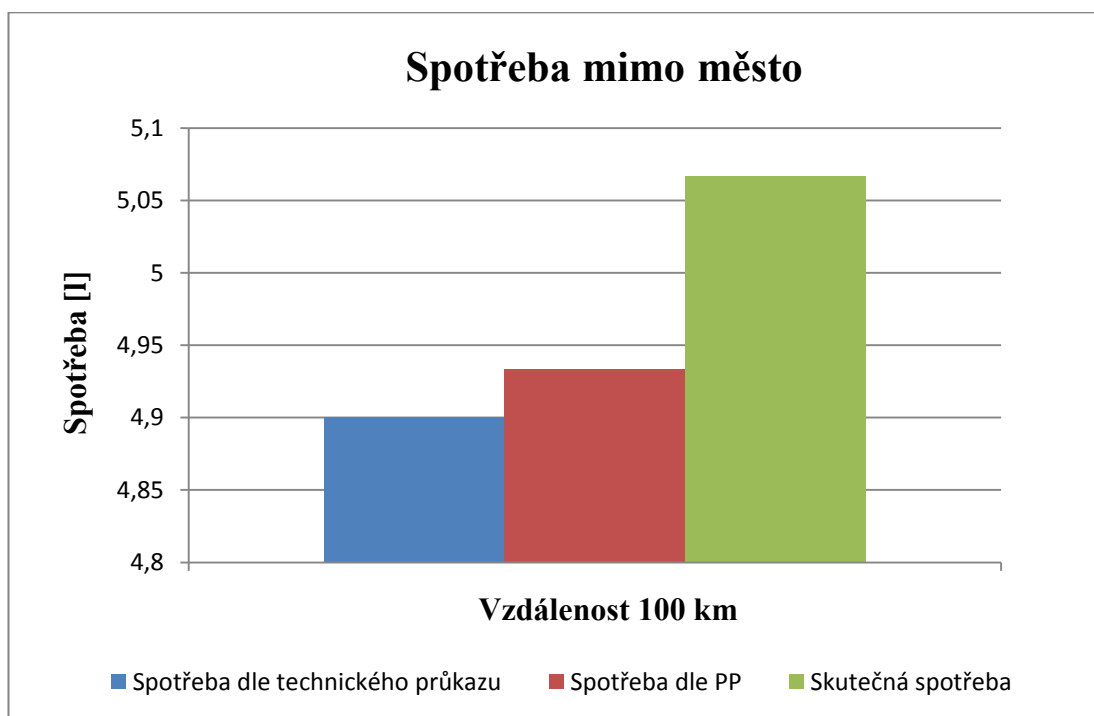
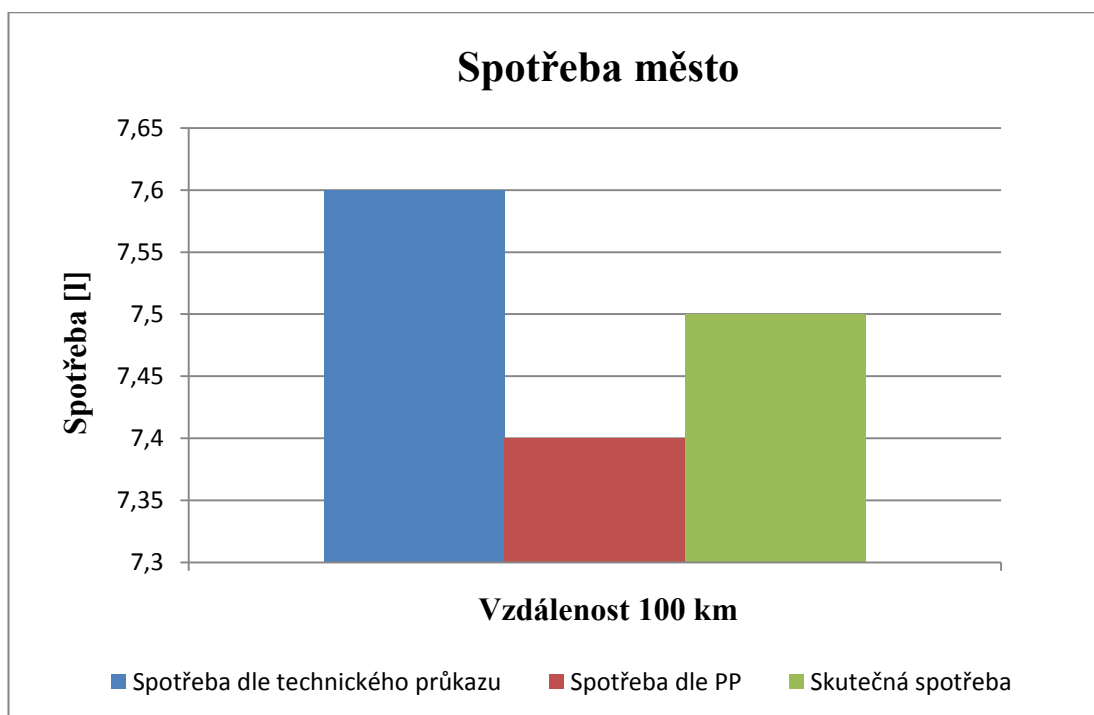
Spotřeba vozidel byla klíčovým prvkem praktické části práce. Porovnávána byla spotřeba udávaná výrobcem vozidla, spotřeba dle palubního počítače a skutečná spotřeba pro městský a mimoměstský provoz. U BMW i3 výrobce udává pouze jednu společnou spotřebu a nerozděluje ji na charakter dopravní trasy, a to hodnotu 11,5 kWh na 100 km. Z naměřených hodnot vyplývá, že mimoměstská spotřeba se liší a mění se i s teplotou okolí. Zvýšená spotřeba se také projevila při jízdě po trase se stoupajícím charakterem České Budějovice - Počátky. Skutečně naměřená spotřeba je uvedena jako celková spotřeba včetně ztrát při nabíjení a 90% spotřeba s odpočtem ztrát při nabíjení. Velikost spotřeby v městském a mimoměstském provozu se výrazně neliší (viz graf 7.2 a 7.3). Z uvedených grafů vyplývají naměřené výsledky. V žádné jízdě však nebyla dosažena deklarovaná spotřeba výrobcem, který tedy uvádí nadhodnocené výsledky v podobě nízké spotřeby.

Graf 7.2: Spotřeba v mimoměstském provozu BMW i3



Graf 7.3: Spotřeba v městském provozu BMW i3

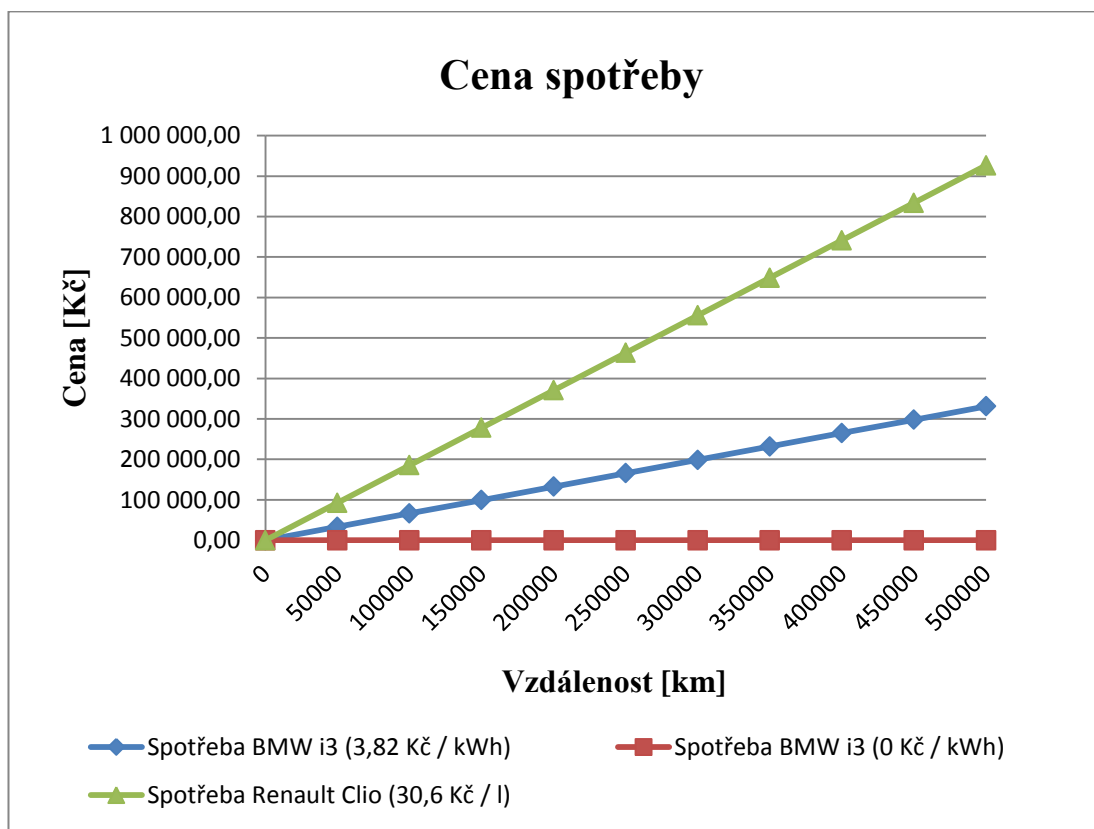
Renault si vedl mnohem lépe, a to ve všech ohledech spotřeby. Stejně jako u BMW se i u Renaultu projevila zvýšená spotřeba jízdou se stoupajícím charakterem dopravní trasy. Různé teploty a její závislost na spotřebu se u tohoto vozidla spíše neprojevila. Překvapivě však dopadly výsledky měřené spotřeby v jednotlivých jízdách v městském i mimoměstském provozu. Velice přesné bylo i měření palubního počítače vzhledem ke skutečné spotřebě. Pro mimoměstský provoz výrobce udává hodnotu 4,9 l na 100 km. Z naměřených hodnot (viz graf 7.4) vyplývá, že skutečná spotřeba byla v průměru jen o malinko vyšší než 5 l. Ve městě výrobce udává spotřebu 7,6 l na 100 km, jízda probíhala v nejvyšší dopravní špičce města a skutečná naměřená spotřeba (viz graf 7.5) byla dokonce o 0,1 l nižší než hodnota udávaná výrobcem. Renault tak v tomto testu obstál na výbornou.

Graf 7.4: Spotřeba v mimoměstském provozu Renault Clio**Graf 7.5:** Spotřeba v městském provozu Renault Clio

7.2.3 Návratnost

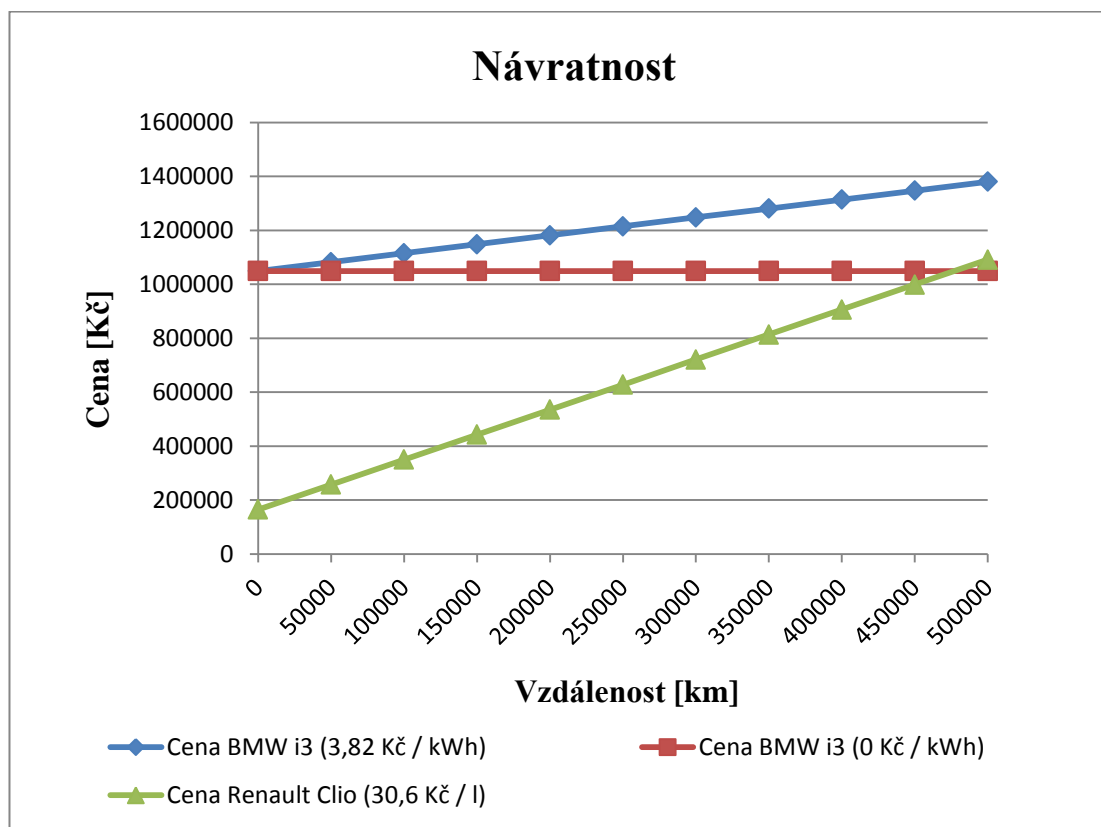
Návratnost investice do elektromobilu, konkrétněji tedy do testovaného BMW i3 je relativní pojem a nedá se s přesností určit a skutečnost se tak může lišit. Ve výpočtu je počítáno s průměrnou cenou elektrické energie $3,82 \text{ Kč}\cdot\text{kWh}^{-1}$ [100] a průměrnou cenou benzínu $30,6 \text{ Kč}\cdot\text{l}^{-1}$ [101]. Do výpočtu spotřeby není počítán žádný servis vozidel, cena pojištění ani ceny za povinné kontroly ke způsobilosti vozidla. Zahrnuta byla pouze cena 800 Kč v intervalu 15 000 km pro vůz Renault, která představuje servisní interval pro výměnu motorového oleje, která u BMW odpadá. Spotřeba obou vozidel (viz graf 7.6) byla vyhodnocena jako kombinovaná spotřeba mimoměstského a městského provozu v poměru 2:1. Spotřeba vychází z prakticky naměřených hodnot v kapitole 6. V grafu je také znázorněn případ pro nulovou spotřebu BMW vycházející z některých veřejných nabíjecích stanic, které poskytují nabíjení zdarma. Z grafu je patrné, že úspora ceny na ujetý kilometr je téměř třetinová nebo dokonce 100% pro BMW.

Graf 7.6: Cena spotřeby vozidel



Dalším grafem je graf návratnosti pořizovací ceny v podobě úspory paliva (viz graf 7.7). V tomto grafu je znázorněna pořizovací cena obou vozidel s připočítanou hodnotou spotřeby na ujetý kilometr. Výsledkem je stejná cenová hladina vozidel mezi 450 a 500 tis. ujetými kilometry, za podmínky, že BMW bude nabíjen elektrickou energií, která je poskytována zdarma. Tento výsledek však vyvrací fakt, že využívání nabíjecích stanic by bylo z praktického hlediska velice neefektivní, spíše až nemožné. Další nepravděpodobností dosaženého výsledku je velmi vysoký nájezd kilometrů, který je z technického hlediska nemožný pro sériově montovaný akumulátor u BMW. V současné době se tak vyšší vstupní investice do BMW i3 prozatím nevyplácí.

Graf 7.7: Cena pořízení a spotřeby vozidel



ZÁVĚR

- V práci byl vytvořen ucelený přehled literární rešerše o historickém vývoji a počátku elektrického pohonu a elektromobilů vůbec.
- Byl sestaven přehled nabíjecích zařízení, jejich vlastností v podobě nabíjecích proudů a druhy používaných nabíjecích konektorů.
- K hodnocení pohonů byla vybrána vhodná vozidla s podobně porovnatelnými parametry a možností dostupného zapůjčení k praktickému měření. Z vozidel byly vybrány BMW i3 a Renault Clio.
- Pro účely měření byl sestaven metodický postup k praktické zkoušce technických a ekonomických aspektů obou vozidel.
- Technické aspekty vozidel byly porovnány z hlediska subjektivního pocitu z jízdy, jízdních vlastností a praktičnosti vozidel, mimo hlukové hladiny, která byla měřena prakticky.
 - Z jízdních vlastností je zřejmé, že elektromobil BMW i3 se hodí spíše pro nižší rychlosti do $100 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a dále pak pro městský provoz, zatímco Renault je vhodnější mimo město.
 - Komfort BMW i3 odpovídá také charakteru městského vozidla z hlediska dostatku místa pro cestující pouze v přední části vozidla a velice pohodlného nakládání zavazadlového prostoru v části zadní.
 - Hluková hladina v kabině BMW i3 rovněž dosahuje nízkého hlukového projevu při $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, která dosahuje průměrně 56 dB a odpovídá tak provozu ve městě.
- Ekonomické aspekty byly porovnávány z hlediska praktického měření a teoretického vývoje spotřeby a její ceny.
 - Skutečná spotřeba Renaultu Clio velice přesně odpovídá udávané spotřebě výrobcem, naproti tomu u BMW se spotřeba značně liší a udávaná hodnota 11,5 kWh je tak nedosažitelná. Podstatný vliv na spotřebu u BMW měla rovněž klesající teplota okolí.
 - Teoretická návratnost vyšší pořizovací ceny BMW i3 s porovnáním ceny Renaultu Clio je mezi 450 a 500 tisíci ujetých kilometrů pod podmínkou nabíjení u veřejných stanic, které poskytují elektřinu zdarma.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Elektromobil. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromobil#Historie>
- [2] ZVERKOVÁ, Soňa. Elektromobily ovládali planétu, dnes hlásia návrat. *Auto Bild* [online]. 2011 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <https://autobild.cas.sk/clanok/185635/elektromobily-ovladali-planetu-dnes-hlasia-navrat/>
- [3] Jedlikelectriccar.jpg. In: *Electric Vehicle* [online]. 1998 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.electricvehiclesnews.com/History/images/Jedlikelectriccar.jpg>
- [4] Historie elektromobilů a automobilů na CNG v osobní dopravě. *Eko Bonus* [online]. 2013 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.ekobonus.cz/historie-elektromobilu-a-automobilu-na-cng-v-sobni-doprave>
- [5] Straitingh_elektromobil.jpg. In: *Eko bonus* [online]. 2015 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: https://www.ekobonus.cz/files/images/EKOLOGICKA_DOPRAVA/elektromobily/historie_elektr_cng/straitingh_elektromobil.jpg
- [6] ZACHARY, Shahan. The Evolution of the Electric Car. *GAS2* [online]. 2015 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://gas2.org/2015/04/29/evolution-electric-car/>
- [7] Leadacid_Plante_circa1860.jpg. In: *Elektric vehicle* [online]. 1998 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: http://electricvehiclesnews.com/History/images/Leadacid_Plante_circa1860.jpg
- [8] BERMAN, Brad. The Evolution of the Electric Car. *Hybrid cars* [online]. 2011 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.hybridcars.com/history-of-hybrid-vehicles/>
- [9] BERMAN, Brad. German Museum Recreates World's First Electric Vehicle. *Plugin cars* [online]. 2011 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.plugin cars.com/german-museum-recreates-worlds-first-electric-vehicle-110214.html>

-
- [10] Electric-history.jpg. In: *Plugin cars* [online]. 2017 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.plugincars.com/sites/default/files/electric-history.jpg>
- [11] SCHOPPERT, Stephanie. Thomas Parker Invented the First Electric Car in 1884. *History collection* [online]. 2017 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://historycollection.co/thomas-parker-invented-first-electric-car-1884/2/>
- [12] Thomas-Parker_1390746c.jpg. In: *Telegraph* [online]. [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: http://i.telegraph.co.uk/multimedia/archive/01390/Thomas-Parker_1390746c.jpg
- [13] Fred_Kimball_electricvehicle_1888.jpg. In: *Elektric vehicle* [online]. 1998 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.electricvehiclesnews.com/History/historyearlyIII.htm>
- [14] Morrison Electric. *American automobiles* [online]. 2012 [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <http://www.american-automobiles.com/Electric-Cars/Morrison-Electric.html>
- [15] Morrison-Electric-1890-2.jpg. In: *American automobiles* [online]. 2012 [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.american-automobiles.com/images2/Morrison-Electric-1890-2.jpg>
- [16] OLŠANSKÝ, Milan. Camille Jenatzy – „Le Diable Rouge”. *Automobil* [online]. 2014 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://www.automobilrevue.cz/rubriky/truck-bus/historie/camille-jenatzy-le-diable-rouge_43477.html
- [17] MARUŠINEC, Jaromír. Elektromobily minulosti a budoucnosti. *Elektromobily* [online]. 2015 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: http://klub.elektromobily.org/w/images/6/6e/Elektromobily_minulosti_a_budoucnosti_v04_CZ.ppt
- [18] 2-jamais-big.jpg. In: *Automobil* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <https://automobilrevue.vshcdn.net/obrazek/542d455730ebd/2-jamais-big.jpg>
- [19] CHAN, C. C. a K. T. CHAU. Modern electric vehicle technology. New York: *Oxford University Press*, 2001. ISBN 01-985-0416-0.

-
- [20] BADIDA, Miroslav. Environmentalistika: alternativne pohony automobilov. Košice: *TU v Košiciach, Strojnícka fakulta*, 2007, 107 s. ISBN 978-808-0739-379.
- [21] ŠÍBL, Jiří. Posouzení výhodnosti elektromobilů a hybridních automobilů v silniční dopravě. Pardubice, 2011. Bakalářská práce. *Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera*.
- [22] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol. *Praha: Grada*, 2012, 158 s. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [23] Henney Kilowatt. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Henney_Kilowatt
- [24] BELLIS, Marry. A History of Electric Vehicles. *ThoughtCo* [online]. 2017 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/history-of-electric-vehicles-1991603>
- [25] TRONNER, Pavel. William Shockley: muž, který změnil tranzistor i jedno údolí. *Živě* [online]. 2015 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/william-shockley-muz-ktery-zmenil-tranzistor-i-jedno-udoli/sc-3-a-177456/default.aspx>
- [26] Kilowatt.jpg. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Henney_Kilowatt#/media/File:Kilowatt.jpg
- [27] SVATOŠ, Patrik. Elektromobily, které neznáte: GM EV1. *Drive* [online]. 2016 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/clanky/elektromobily-ktere-neznate-gm-ev1-488>
- [28] PSA Peugeot Citroen has Big Electric Car Plans Unfolding. *Gearheads* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <https://gearheads.org/psa-peugeot-citroen-has-big-electric-car-plans-nfolding/>
- [29] 1996-GM-EV1-1-medium.jpg, 2013. In: *DIGITAL TRENDS* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/wp-content/uploads/2013/02/1996-GM-EV1-1-medium.jpg>
-

-
- [30] BUREŠ, David. Konec spalovacích motorů? Německo je chce zakázat rovnou v celé EU!. *Auto* [online]. 2016 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/konec-spalovacich-motoru-nemecko-je-chce-zakazat-rovnou-v-cele-eu-99096>
- [31] Konec spalovacích motorů na planetě? Čína se chystá zakázat benziny a diesly. *Echo24* [online]. 2017 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://www.echo24.cz/a/ie5Am/konec-spalovacich-motoru-na-planete-cina-se-chysta-zakazat-benziny-a-diesly>
- [32] První hybridní vůz postavil Čech. Buď Křížík nebo Porsche. *Auto* [online]. 2009 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://auto.idnes.cz/prvni-hybridni-vuz-postavil-cech-bud-krizik-nebo-porsche-pey-/automoto.aspx?c=A091023_002851_automoto_vok
- [33] Jenatzy, Křížík, Jeantaud a elektromobily. *Euro Oldtimers* [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.eurooldtimers.com/cze/historie-clanek/771-jenatzy-krizik-jeantaud-a-elektromobily.html>
- [34] Frantisek-krizik-1817, 2016. In: *Drive* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://fdrive.cz/obrazek/frantisek-krizik-1817>
- [35] HOŘČÍK, Jan. První český elektromobil sestrojili v Brně. *Hybrid* [online]. 2011 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/prvni-cesky-elektromobil-sestrojili-v-brne>
- [36] VLK, František. Koncepce motorových vozidel: koncepce vozidel : alternativní pohony : komfortní systémy : řízení dynamiky : informační systémy. *Brno: VLK, 2000, 367 s. ISBN 80-238-5276-0.*
- [37] Brněnský elektromobil EMA 2. *Envi Web* [online]. 2015 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/103664>
- [38] Ema-1-brno-technicke-muzeum.jpg. In: *Hybrid* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/i/elektromobil/ema-1-brno-technicke-muzeum.jpg>
- [39] IMG_3028.jpg. In: *Hybrid* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: http://www.b1000.eu/wp-content/uploads/2013/05/IMG_3028.jpg
-

-
- [40] VEGR, Jaromír. Elektromobily – historie a současnost. *Pro Energy*. 2008, 2008(3), 44-50.
- [41] PROJEKT malého ELEKTROMOBILU ŠKODA: *Elektroauto* [online]. 2005 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: http://www.electroauto.cz/pr_skoda_shortcut.html
- [42] DUSIL, Tomáš. Škoda Shortcut: Tohle je první elektrická Škoda! Znáte raritní elektrofavorit? *Auto* [online]. 2017 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/skoda-shortcut-tohle-je-prvni-elektricka-skoda-znate-raritni-elektrofavorit-104095>
- [43] Skoda_uvmv.jpg. In: *Elektroauto* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: http://www.electroauto.cz/auta/skoda_uvmv.jpg
- [44] Elektromobily ŠKODA. *Electroauto* [online]. 2005 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.electroauto.cz/skoda.html>
- [45] Eltra151L.jpg. In: *Electroauto* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://www.electroauto.cz/auta/eltra151L.jpg>
- [46] Eltra_pickup_predekbok.jpg. In: *Electroauto* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: http://www.electroauto.cz/auta/eltra_pickup_predekbok.jpg
- [47] HORČÍK, Jan. ŠKODA ELCAR EJPOVICE. *Hybrid* [online]. 2009 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/tagy/skoda-elcar-ejповice>
- [48] Český rozvážkový sen? Škoda nebo Tatra Beta. *Auto Road* [online]. 2017 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://autoroad.cz/historie/87507-cesky-rozvazkovy-sen-skoda-nebo-tatra-beta>
- [49] Fotografie-191678. In: *Auto Road* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <http://autoroad.cz/historie/87507-cesky-rozvazkovy-sen-skoda-nebo-tatra-beta/fotografie-191678>
- [50] FRYBERT, Jan. Alternativní pohony. Brno: *Integrovaná střední škola automobilní*, 2015, 125 s. ISBN 978-80-260-7548-6.
- [51] KAMEŠ, Josef. Alternativní pohon automobilů. *Praha: BEN - technická literatura*, 2004, 232 s. ISBN 80-730-0127-6.

-
- [52] TKOTZ, Klaus. Příručka pro elektrotechnika. 2., dopl. vyd. *Praha: Europa-Sobotáles*, 2006, 624 s. ISBN 80-867-0613-3.
- [53] VLK, František. Alternativní pohony motorových vozidel. *Brno: František Vlk*, 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [54] Elektro. *Elektronické motory* [online]. 2013, 70, 30 [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer//2015/25/_25_2015/index.html#p=1
- [55] Tesla-Model-S-Motor-Windell-Oskay-copy.jpg. In: *Charged* [online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <https://chargedevs.com/wp-content/uploads/2014/10/Tesla-Model-S-Motor-Windell-Oskay-copy.jpg>
- [56] BENECKI, Walt. More Than You Ever Wanted to Know About the Permanent Magnet Industry!. *Walt Benecki* [online prezentace]. 2013 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: http://www.waltbenecki.com/uploads/more_than_you_ever_wanted_to_know.pdf
- [57] Bmw-i-electric-motor-iaa-cars-th-international-show-frankfurt-germany-september-60255426.jpg. In: *Charged*[online]. [cit. 2017-12-07]. Dostupné z: <https://thumbs.dreamstime.com/b/bmw-i-electric-motor-iaa-cars-th-international-show-frankfurt-germany-september-60255426.jpg>
- [58] HROMÁDKO, Jan. Speciální spalovací motory. *V Praze: Česká zemědělská univerzita*, 2011, 152 s. ISBN 978-80-213-2168-7.
- [59] RUGH, John P. Electric Drive Vehicle Climate Control Load Reduction. *Energy.Gov* [online prezentace]. 2015 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: https://energy.gov/sites/prod/files/2015/07/f24/vss097_rugh_2015_o.pdf
- [60] STEHLÍK, Luděk. Definice elektrické akumulátory. *Battex* [online]. 2017 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektricke-akumulatory-obecne/definice>
- [61] Olověné baterie. *Elektromobily* [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/oloveny-akumulator>
-

-
- [62] GREGORA, Stanislav a Zdeněk MAŠEK. Elektronické a mechatronické systémy v konstrukci silničních vozidel. *Pardubice: Univerzita Pardubice*, 2008, 225 s. ISBN 978-80-7395-082-8.
- [63] NiMH akumulátory. *Elektromobily* [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech/nimh-akumulatory>
- [64] CENEK, Miroslav. Akumulátory od principu k praxi. *Praha: FCC Public*, 2003, 300 s. ISBN 80-865-3403-0.
- [65] Types of Lithium-ion. *Battery University* [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion
- [66] REICHL, Tomáš. Sodíkové baterie – konstrukce, princip činnosti a aplikace. *O energetice* [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/sodikove-baterie-konstrukce-princip-cinnosti-a-aplikace/>
- [67] CHEN, Allan. Sulfur-graphene oxide material for lithium-sulfur battery cathodes. *Berkeley Lab* [online]. 2013 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://eta.lbl.gov/news/article/56320/sulfur-graphene-oxide-material-for-lithium-sulfur-battery-cathodes>
- [68] REICHL, Tomáš. Metal-air (Kov-vzduchová) baterie. *Berkeley Lab* [online]. 2015 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/metal-air-kov-vzduchova-baterie/>
- [69] CHANDLER, David L. New lithium-oxygen battery greatly improves energy efficiency, longevity. *MIT News* [online]. 2016 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://news.mit.edu/2016/new-lithium-oxygen-battery-greatly-improves-energy-efficiency-longevity-0725>
- [70] HORČÍK, Jan. IBM má nové partnery v projektu příští generace baterií pro elektromobily. *Hybrid* [online]. 2012 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/ibm-ma-nove-partnery-v-projektu-pristi-generace-baterii-pro-elektromobily>

-
- [71] BEDNÁŘ, Marek. Volkswagen vyvíjí lithium-vzduchové baterie s až trojnásobnou kapacitou. *Auto forum* [online]. 2014 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/technika/volkswagen-vyviji-lithium-vzduchove-baterie-s-az-trojnashobnou-kapacitou/>
- [72] VOŘIŠEK, Lukáš. Budoucnost patří bateriím „na vzduch“: Nové Zinc-Air baterie uloží dvakrát více energie než Lithium-Ion. *Deep in it* [online]. 2013 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/budoucnost-patri-bateriim-na-vzduch-zinc-air-vs-lithium-ion>
- [73] HORČÍK, Jan. Hliníkovo-vzduchová baterie: dojezd elektromobilu až 1600 km?!. *Hybrid* [online]. 2013 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/hlinikovo-vzduchova-baterie-dojezd-elektromobilu-az-1600-km>
- [74] REBACK, Gedalyah. Phinergy's aluminum-air battery could begin an era of zero emissions from cars. *Geek time* [online]. 2016 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://www.geektime.com/2016/01/07/investors-throw-50m-at-israeli-revolutionary-electric-car-battery/>
- [75] IEC 62196. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IEC_62196
- [76] SAE J1772. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/SAE_J1772
- [77] LINDEN, David. a Thomas B. REDDY. Handbook of batteries. 3rd ed. *New York: McGraw-Hill*, 2002, 1200 s. ISBN 00-713-5978-8.
- [78] HORČÍK, Jan. Nabíjecí stanice pro elektromobily, druhy a použití. Jak nenaletět. *Hybrid* [online]. 2014 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/nabijeci-stanice-pro-elektromobily-druhy-pouziti-jak-venaletet>
- [79] Charging speeds and connectors. In: *Zap-Map* [online]. 2015 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.zap-map.com/charge-points/connectors-speeds/>
-

-
- [80] KUŽELKA, Miroslav. Elektromobily a jejich nabíjení. *Elektromobilita* [online]. 2011, 14-15 s, [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/flipviewer/Elektro/2011/09/Elektro_09_2011_output/web/Elektro_09_2011_opf_files/WebSearch/page0005.html
- [81] RUOFF, Christian. Tesla reveals prototype of snakelike automatic charger. In: *Charged* [online]. 2015 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://chargedevs.com/newswire/tesla-reveals-a-prototype-of-snakelike-automatic-charger/>
- [82] Tesla-Snakelike-Charger.jpg. In: *Charged* [online]. 2015 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://chargedevs.com/wp-content/uploads/2015/08/Tesla-Snakelike-Charger.jpg>
- [83] Baterii v elektromobilu vyměníme za 30 vteřin, říká Radek Janků, zakladatel startupu BattSwap. In: *Eco Future*[online]. 2017 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.ecofuture.cz/clanek/stanou-se-elektricke-bezpilotni-formule-kralovskou-disciplinou-motorsportu>
- [84] Plug-In Around the EV World. *Electric Vehicle Institute* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: http://www.ev-institute.com/images/media/Plug_World_map_v4.pdf
- [85] Nabíjanie elektromobilov: Zástrčkový guláš, 2016. *Auto Bild* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://autobild.cas.sk/clanok/212616/nabijanie-elektromobilov-zastrckovy-gulas/>
- [86] Scame.png. In: *Lugenergy* [online]. 2012 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://www.lugenergy.com/imagenes//2012/11/scame.png>
- [87] První veřejná nabíjecí stanice pro elektromobily v ČR otevřena v Desné Více. In: *AutoRevue* [online]. 2007 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: https://www.autorevue.cz/prvni-verejna-nabijeci-stanice-pro-elektromobily-v-cr-otevrena-v-desne_2

- [88] V ČR je již přes 300 nabíjecích míst pro elektromobily, růst pokračuje. In: *O energetice* [online]. 2017 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/rychle-zpravy/v-cr-je-jiz-pres-300-nabijecich-mist-pro-elektromobily-rust-pokracuje/>
- [89] Mapa dobíjecích stanic. In: *Asociace elektromobilového průmyslu* [online]. [cit. 2017-12-04]. Dostupné z: <https://www.asep.cz/interaktivni-mapa-dobijecich-stanic>
- [90] DOLEJŠÍ, Jan. Jsou dnešní elektromobily ekologické? In: *Chytrá auta* [online]. 2017 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.chytraauta.cz/jsou-elektromobily-ekologicke-201701/>
- [91] Výroba elektřiny v ČR: Nejvíce energie stále získáváme z uhelných elektráren. In: *Elektrina* [online]. 2014 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/vyroba-elektřiny-v-cr-nejvic-energie-stale-ziskavame-z-uhelných-elektřaren>
- [92] RYBECKÝ, Vladimír. Jak velké jsou opravdu emise elektromobilu?. *Auto week* [online]. 2017 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://www.autoweek.cz/cs-aktuality-jak-velke-jsou-opravdu-emise-elektromobilu-6645>
- [93] Roční zpráva o provozu ES ČR 2016. *Energetický regulační úřad* [online]. 2017, 2016, 37 s, [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2016.pdf/800e5a09-a58a-4a73-913f-abc30cda42a5
- [94] DUSIL, Tomáš. Evropské emisní normy: Jsou s námi už od roku 1970. *Auto* [online]. 2016 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/technika-evropske-emisni-normy-jsou-s-nami-uz-od-roku-1970-94232>
- [95] 100 milionů eur stojí snížení emisí CO₂ o jeden gram. Euro 7 přinese odklon od dieselu a rozvoj alternativ. *Zpravodajství24* [online]. 2017 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <http://zpravodajstvi24.cz/euro7/>
- [96] MARUŠINEC, Jaromír. Proč je elektromobil lepší než spalovací vozidlo?. *ASEP* [online]. 2017 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://www.asep.cz/proc>

- [97] BUSCHWAY, Rob. Large CO2 Emissions From Batteries Of Electric Cars. *Climate depot* [online]. 2017 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <http://www.climatedepot.com/2017/06/12/new-study-large-co2-emissions-from-batteries-of-electric-cars/>
- [98] Tesla Gigafactory. *TESLA* [online]. 2014 [cit. 2018-02-23]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/gigafactory>
- [99] Hero.jpg, 2014. In: *TESLA* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: https://www.tesla.com/tesla_theme/assets/img/gigafactory/hero.jpg
- [100] Mapy. *Mapy* [online]. 2018 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.3035000&y=49.2413000&z=11>
- [101] 2270-S_windshield_1180x674.ashx, In: *Briuel & Kjaer* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: https://www.bksv.com/-/media/Images/Products/sound-and-vibration-meters/sound-level-meters/Type-2270-S-new/2270-S_windshield_1180x674.ashx
- [102] Cena 1 kWh, 2018. *Energie 123* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- [103] Vývoj ceny benzínu, nafty, aktuální cena a podrobný graf, 2018. *Kurzy* [online]. [cit. 2018-04-04]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/komodity/benzin-nafta-cena>